Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Diplomarbeit

Entwicklung eines Sitzsystems auf Basis des BT-Leichtbausitzes für leichte Schienenfahrzeuge

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Manfred Grafinger

(E307-04 Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung, Forschungsbereich Maschinenbauinformatik und Virtuelle Produktentwicklung)

Dipl.-Ing. Richard Zemann

(Bombardier Transportation Austria GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Markus Aigner

[redacted]

Wien, im Oktober 2019

_____

Markus Aigner

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Oktober 2019

_____

Markus Aigner

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt Herrn Professor Manfred Grafinger, welcher mich bei der Erstellung dieser Arbeit stets unterstützt und geleitet hat. Seine kritischen Fragen und Anregungen bewegten mich zum Überdenken meiner Ideen und führten somit oft zu neuen, besseren Lösungen.

Ebenso möchte ich mich bei den Kolleginnen und Kollegen von Bombardier für die sehr lehrreiche und interessante Zeit bedanken. Vor allem bei Richard Zemann und Gerhard Resch, welche durch ihre Anstöße und Ideen maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben.

Bei meinen Freundinnen, Freunden und StudienkollegInnen, welche meine Studienzeit bereichert und verschönert haben, möchte ich mich ebenfalls bedanken. Nicht immer waren die Beiträge und Aktionen für den Studienerfolg relevant, trotzdem möchte ich kein einziges Erlebnis missen.

Meine Familie hat mich immer wieder angespornt und unterstützt. Ohne sie wäre das alles nicht möglich gewesen. Von meinen Eltern habe ich gelernt, was harte Arbeit ist, wie man die täglichen Herausforderungen meistern kann und selbstständig und selbstbestimmt lebt. Diese Lektionen haben mich zu dem gemacht, was ich bin, und sind wichtiger als alles im Studium Gelernte. Danke.

Ein spezieller Dank gilt meiner Freundin Alena Stadlbauer. Vor allem in den finalen Monaten meines Studiums war ich besonders auf ihre Unterstützung angewiesen. Wie selbstverständlich konnte ich mich auch darauf verlassen, viele Wege wären ohne ihre Hilfe sehr beschwerlich oder auch nicht möglich gewesen. Auch bei Durchhängern kamen stets aufbauende Worte ihrerseits, welche zum Weitermachen motivierten.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines Sitzsystems auf Basis eines von Bombardier selbstentwickelten Sitzkonzeptes. Dieses Konzept soll aufgrund seiner Variabilität und Robustheit in möglichst vielen Fahrzeugen von Bombardier eingesetzt werden. Deshalb wird für den Fahrzeugtyp Flexity City Tram LF, unter Einhaltung projektspezifischer Anforderungen, eine Lösung gesucht. Ziel ist die Entwicklung eines Produktes, welches auch als Plattformprodukt für ähnliche Fahrzeuge verwendet werden kann.

Eine systematische Herangehensweise an die Aufgabe wurde durch Anwendung der Methoden der Produktentwicklung erzielt. Von der Abstrahierung der Problemstellung bis hin zum Ausarbeiten werden die Phasen und Werkzeuge des Produktentwicklungsprozesses in der Theorie beschrieben und später am Beispiel des Sitzsystems angewendet.

Um die Konzepte und Lösungen zu validieren, werden Bombardier interne Prozesse und Reviews herangezogen, welche erfolgreich abgeschlossen werden müssen.

Nach dem Erstellen einer Anforderungsliste und dem Abgleich dieser mit den topologischen Gegebenheiten im Fahrzeuginnenraum wurden Zielkonflikte in einzelnen Wagenteilen festgestellt. Diese Konflikte forderten nach einer neuen Lösung, welche gleichzeitig Wartung und Instandhaltung von Equipment erleichtern soll. Eine bewegliche Sitzgruppe ergab sich als Lösung. Durch eine translatorische Bewegung hin zur Fahrzeugmitte wurden sämtliche Anforderungen erfüllt und die Wartung von unter der Sitzgruppe befindlichem Equipment verbessert. In den Wagenteilen ohne topologischen Problemstellen wurde eine starre Konstruktion gewählt, in welche möglichst viele Komponenten übernommen wurden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

This thesis deals with the development of a seating system based on a seating concept developed by Bombardier itself. Due to its variability and robustness, this concept should be used in as many Bombardier vehicles as possible. For this reason, a solution for the Flexity City Tram LF vehicle type, which complies with project-specific requirements, is searched. The aim is a product, which can also be used as a platform product for similar vehicles.

A systematic approach to the task was achieved by applying product development methods. From the abstraction of the problem to the elaboration, phases and tools of the product development process are described in theory and later applied to the example of the seating system.

In order to validate the concepts and solutions, Bombardier's internal processes and reviews are used, which must be successfully completed.

After generating a requirements list and comparing it with the topological conditions in the vehicle interior, conflicting objectives were identified in individual car parts. These conflicts called for a new solution that, at the same time, should facilitate the maintenance and repair of equipment. A movable seating group was the solution. By means of a translational movement towards the centre of the vehicle, all requirements were met, and the maintenance of the equipment located under the seating group was improved. A rigid design was chosen for the car parts without topological problems, in which as many components as possible were incorporated.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

1.1 Über leichte Schienenfahrzeuge 1

1.2 Über Sitze in leichten Schienenfahrzeugen 2

1.3 Über den Bombardier–Leichtbausitz 4

1.4 Über das Projekt 6

1.5 Problemstellung / Forschungsfragen 7

2 Theoretische Grundlagen 9

2.1 Produktplanung 9

2.2 Neuheitsgrad 9

2.3 Organisationsform 10

2.4 Produkt-Service System 11

2.5 Produktentwicklungsprozess 12

2.5.1 Planen, Klären und Präzisieren der Aufgabe 14

2.5.2 Konzipieren 16

2.5.3 Entwerfen 19

2.5.4 Ausarbeiten 22

3 Produktentwicklung am Beispiel eines Sitzsystems für leichte Schienenfahrzeuge 24

3.1 Klären der Aufgabe 24

3.1.1 Anforderungsliste 24

3.1.2 Neuheitsgrad 32

3.1.3 Abstrahieren der Aufgabe und Funktionsstruktur 32

3.2 Lösungskonzepte 35

3.2.1 Konzeptauswahl 46

3.3 Entwerfen 50

3.3.1 Sitzschalen 52

3.3.2 Abschlusskappen oben 54

3.3.3 Rahmen 56

3.3.4 Verkleidung 60

3.3.5 FEM Analyse 1 62

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.3.6 Optimierung 63
3.3.7 FEM Analyse 2....66
3.4 Validierung / Preliminary Design Review....67
3.4.1 Prototyp 68
3.5 Ausarbeiten 70
3.5.1 Detailed Design Review....72
4 Diskussion und Ausblick 73
5 Anhang....75
5.1 Auslegung IBC Linearführungen 75
5.2 Auslegung Rastbolzen....78
6 Literaturverzeichnis....79
7 Abbildungsverzeichnis 81
8 Formelverzeichnis....83
9 Tabellenverzeichnis 84
10 Abkürzungsverzeichnis....85

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1 Einleitung

Um in einem Markt mit starker Konkurrenz zu bestehen, gibt es viele Erfolgsfaktoren. Die Abgrenzung zu MitbewerberInnen mit innovativen, flexiblen und qualitativ herausragenden Produkten ist dazu ein wichtiger Faktor, das Verringern der Abhängigkeit von LieferantInnen durch vertikale Integration bei kritischen Komponenten ein anderer.

Das Geschäftsfeld für leichte Schienenfahrzeuge (auch LRV) ist einer dieser Märkte, in denen ein starker Konkurrenzdruck vorherrscht. Das Unternehmen Bombardier Transportation (BT) hat sich mit der Entscheidung zu einem Aufbau eines Kompetenzzentrums für Straßenbahnen in Wien zu diesem Markt bekannt. Um den Vorsprung zur Konkurrenz zu vergrößern und die eigenen Stärken zu forcieren, wird vermehrt in die Weiterentwicklung und Neuentwicklung von diversen Baugruppen investiert [1]. Integrale Komponenten von Straßenbahnen und Stadtbahnen wie Boogies, Rohbauten, Fahrerstände, Fahrassistenzsysteme, Inneneinrichtungen und Sicherheitseinrichtungen werden stetig optimiert und neue Konzepte entwickelt.

Fahrgastsitze beeinflussen den Komfort der Reisenden maßgeblich. Die große Stückzahl pro Fahrzeug bzw. Projekt führt dazu, das Fahrgastsitze einen ebenso starken Einfluss auf das Fahrzeuggewicht wie auf die Projektkosten haben. Aus diesen Gründen gibt es das Bestreben von BT, hier Knowhow aufzubauen, Entwicklungen voranzutreiben und sich auch über diese Komponente von Konkurrenz und marktbekannten Produkten abzugrenzen. Daher wurde bei BT ein Sitzkonzept für leichte Schienenfahrzeuge entwickelt, welches genauer im Abschnitt 1.3 erläutert wird.

1.1 Über leichte Schienenfahrzeuge

Schienenfahrzeuge werden heutzutage in den verschiedensten Ausführungen eingesetzt, von Hochgeschwindigkeitszügen bis hin zu nostalgischen Dampflokomotiven sind diverse Varianten in Betrieb. So unterschiedlich wie die Anwendungsgebiete sind auch die Anforderungen und gesetzlichen Rahmenbedingungen für die jeweiligen Fahrzeuge.
Die Kategorisierung und Unterteilung der verschiedensten Typen von Schienenfahrzeugen regelt die DIN 25003 [2], welche jedoch lediglich in Eisenbahnfahrzeuge, Straßenbahnfahrzeuge und sonstige Schienenfahrzeuge unterteilt [3].
Da das Geschäftsfeld von BT Wien neben Straßenbahnen auch andere leichte Schienenfahrzeuge umfasst, ist diese Unterteilung nicht zielführend. Betrachtet man den gesetzlichen Rahmen für den Betrieb von Straßenbahnen, wird die Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) herangezogen. Diese behandelt ebenso Stadt-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

und U-Bahnen [2], damit sei in Anlehnung an die BOStrab eine geeignete Kategorisierung für LRV gefunden, auch wenn die BOStrab nur für Deutschland gültig ist. [4]

Neben den verschiedensten technischen Anforderungen an LRV werden auch immer höhere Ansprüche an das Design der Fahrzeuge gelegt.
Viele Städte setzen sehr stark auf ein homogenes Stadtbild, dies spiegelt sich auch in dem in der Stadt vorhandenen öffentlichen Verkehr und dessen Fahrzeugen wider. Da vor allem Straßenbahnen immer wieder als Aushängeschilder von Städten fungieren und diese rund um die Uhr im städtischen Raum verkehren, wird hier vermehrt der Fokus auf *Corporate Design* des Betreibers gelegt. Viele der Verkehrsbetriebe, welche KundInnen von BT sind, befinden sich in öffentlicher Hand bzw. im Einflussbereich der jeweiligen Städte, daher wird auch oft von *Town Identity* gesprochen. Stadtwappen und Stadtfarben werden immer wieder sowohl im Außenbereich als auch im Innenraum in das Design von Straßenbahnen eingefasst. Nicht nur optisch gibt es Unterschiede gleicher Fahrzeugtypen, auch grundlegende Eigenschaften wie Spurweite, Fahrzeuglänge und Geometrien, welche vom Streckennetz abhängen, sind meist projektspezifisch. Deshalb ist eine erfolgreiche Standardisierung der Komponenten nur sehr schwer und eingeschränkt möglich. Gute Konzepte und Lösungen können hier jedoch als Plattformlösungen zum Erfolg führen.

1.2 Über Sitze in leichten Schienenfahrzeugen

Die grundlegende Funktion von Sitzen besteht darin, den Fahrgästen den entsprechenden Komfort für den Aufenthalt im Fahrzeug zu bieten. Die Komforterwartungen an Fahrgastsitze variieren je nach Betreibergesellschaft, Fahrzeugtyp, Streckennetz und somit je nach Projekt. Fahrgastsitze sind für viele EndkundInnen eine sehr wichtige und emotionale Komponente ihres Fahrzeuges, sind Sitze doch jener Teil des Fahrzeuges, welcher eine häufige Quelle für Fahrgastbeschwerden ist, und diese gehen direkt an die Betreibergesellschaften. Weiters haben Passagiersitze einen bedeutenden Einfluss auf die Lebenszykluskosten (LCC) eines Fahrzeuges. Reinigung und Wartung sind hier die Hauptpositionen, welche die LCC beeinflussen. In Fahrzeugen von BT gibt es daher viele verschiedene Arten von Sitzen, inkl. dem jeweiligen Zubehör und Anbauteilen. Diese Sitze werden in den unterschiedlichsten Anordnungen verbaut, Reihen-, Visavis- oder Längsbestuhlung kommen in verschiedensten Bauarten vor. Fixe Sitze werden hauptsächlich auf Cantilever-Konsolen oder als Vierersitzgruppen ausgeführt, beide Ausführungen sind in Abbildung 1 & Abbildung 2 dargestellt. Je nach Auftrag kommen oft noch Sitze in breiterer Ausführung, so genannte Priority-Seats, oder auch Mutter-Kind-Sitze bzw. PRM-Sitze oder auch Klappsitze zum Einsatz.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abbildung 1: Reihenbestuhlung Ausführung Cantilever (Quelle: Bombardier Transportation)

Abbildung 2: Visavis-Bestuhlung Ausführung Sitzgruppen (Quelle: Bombardier Transportation)

SitzlieferantInnen bewegen sich daher in einem sehr wettbewerbsintensiven Umfeld und verfügen meist über Plattformsitze, die sie für ihre verschiedenen KundInnen anpassen. Durch eine Reihe von Zubehörteilen und Veränderungen, die vorgenommen werden können, entstehen aus einer Plattform unterschiedliche Varianten, während SitzlieferantInnen ihre Herstellungsprozesse und Kerndesign intakt halten und somit ihre Ressourcen schonen.

Als allgemein gültige Anforderung, unabhängig von Projektanforderungen, muss vor allem der in Europa zu erfüllende Brandschutznachweis nach EN 45545 - 2 angeführt werden, welcher die Materialauswahl signifikant einschränkt. Sämtliche Werkstoffe, welche nicht in die Mindermenge fallen, müssen nach den jeweiligen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Anforderungssätzen geprüft werden, dies trifft auch auf Oberflächenbeschichtungen zu [5].

Eine weitere Anforderung, welche allgemein an Sitze in Schienenfahrzeugen gestellt wird, ist, dass eine praktikable und möglichst einfache Reinigung gewährleistet werden kann, sowie, dass keine Möglichkeit zum Verstecken von Gegenständen vorhanden ist.

1.3 Über den Bombardier–Leichtbausitz

Bei diesem Sitz handelt es sich um einen von Bombardier selbst entwickelten Sitztyp, welcher zum Start dieser Arbeit in folgenden Konfigurationen verfügbar ist: Einfachsitz, Doppelsitz, Vierergruppe (alle auf Cantilever ausgeführt) und Klappsitz. Der grundsätzliche Aufbau des BT-Sitzes ist sehr simpel. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, besteht der Sitz aus folgenden Hauptkomponenten:

- Sitzschale aus Aluminiumstrangpressprofil
- Polsterträger / Inlay
- Abschlussleiste unten / vorne
- Abschlussleiste oben

Die Rücken- und Sitzflächen sind mittels Inlays oder Polsterträgern ausgebildet, welche in diversen Farben und Mustern sowie unterschiedlichen Sitzqualitäten erhältlich sind. Inlays aus Holz oder Polster mit dem jeweils gewünschten Bezugsstoff können realisiert werden (siehe Abbildung 3). Dies macht das Sitzkonzept im Hinblick auf Designwünsche und Ausführung des Sitzpolsters sehr variabel.

Je nach Anwendungsfall ist entweder die obere oder vordere Abschlussleiste schnell abnehmbar ausgeführt, bewährt hat sich hier die Verwendung von Exzenterverschlüssen und Verbindungssteckern. Durch die schnelle Demontage einer der Abschlusskappen kann auch das Inlay durch Herausziehen und Einschieben getauscht werden. Dadurch werden Wartungs- und Reinigungszeiten minimiert, was wiederum die LCC senkt. Weitere Vorteile des BT-Sitzes sind die sehr robuste und schmale Ausführung durch die Aluminiumschale, dadurch wird Bauraum eingespart und Vandalismus vorgebeugt, sowie das universell einsetzbare Konzept.

Zum Zeitpunkt dieser Arbeit wurde der BT-Sitz bereits in einem Projekt umgesetzt. Hier handelt es sich um ein Hochflurfahrzeug der Type Flexity Swift für die Rheinbahn, bei welchem die Sitze mit einer Sitzbreite von 450 mm auf Cantilever-Konsolen als Einzelsitze, Doppelsitze, Sitzgruppen und Klappsitze verbaut wurden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abbildung 3: BT-Leichtbausitz mit Polstervarianten und Haltegriff (Quelle: Bombardier Transportation)

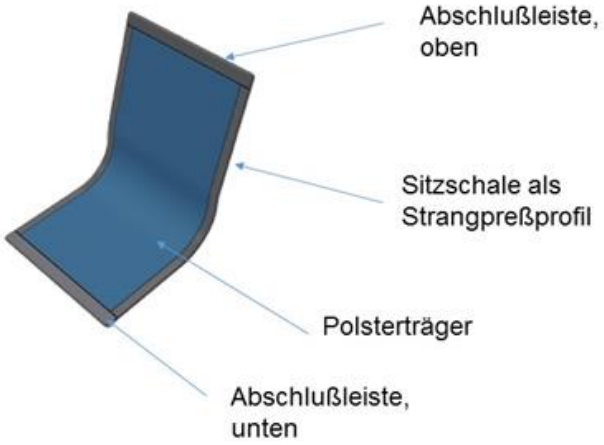


Abbildung 4: BT-Leichtbausitz Aufbau (Quelle: Bombardier Transportation)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

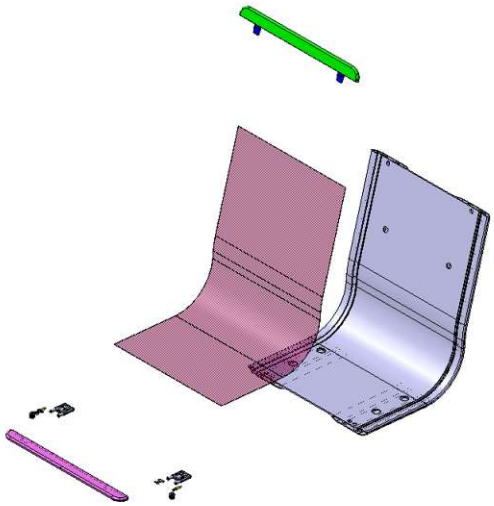


Abbildung 5: BT-Sitz Explosionsdarstellung

1.4 Über das Projekt

Bei dem Projekt Duisburg handelt es sich um einen Auftrag der Duisburger Verkehrsgesellschaft AG (DVG) mit einem Basisumfang von 47 Fahrzeugen des Typs Flexity City Tram LF mit der Option auf 5 zusätzliche Fahrzeuge bei Bedarf [6]. Bei den Fahrzeugen handelt es sich um Doppelrichtungsfahrzeuge, welche aus drei durch Portale getrennte Wagenteilen (Wgt) bestehen. Durch die Ausführung als Zweirichtungsfahrzeug sind die Wagenteile 1 (Wgt 1) und 2 (Wgt 2) spiegelgleich und mit Antriebsdrehgestellen ausgestattet. Der mittlere Wagenteil 3 (Wgt 3) ist mit Laufdrehgestellen versehen, an welchen keine Sandungsanlage notwendig ist. Insgesamt soll das Fahrzeug eine Kapazität für 200 Personen bieten und dabei 70 Sitzplätze für Reisende aufweisen, welche wie folgt aufgeteilt sind [6]:

- 3 Klappsitze Wgt 1
- 3 Klappsitze Wgt 2
- 4 Sitzgruppen zu 4 Sitzen Wgt 1
- 4 Sitzgruppen zu 4 Sitzen Wgt 2
- 8 Sitzgruppen zu 4 Sitzen Wgt 3

Aufgrund der 70 % Niederflurausführung ist das unterschiedliche Fußbodenniveau im Wgt 3 bei der Auslegung der Sitzhöhen zu beachten. Die Fahrzeugabmessungen belaufen sich auf 2,30 m Breite und 34 m Länge [7].

Weiters ist ein FlexCare Wartungspaket Teil des Kaufvertrages, welcher einen effizienten, sicheren und verlässlichen Betrieb über die Laufzeit von 23 Jahre + 8 Jahre Option gewährleisten soll. Das FlexCare Paket nimmt BT durch die Übernahme von Wartungs- und Reparaturaufwänden sowie durch die Bereitstellung sämtlicher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Ersatzteile [6] in die Verantwortung, einen reibungslosen Betrieb der Fahrzeuge zu garantieren. Auf die Laufzeit dieses Vertrages und die inkludierten Leistungen muss bei der Entwicklung, Auslegung und Konstruktion ein besonderes Augenmerk gelegt werden, um keine zusätzlichen Folgekosten zu erzeugen.

Aufgrund der Nähe zwischen den Betreibergesellschaften DVG und Ruhrbahn (Stadt Essen) und der in Essen sehr erfolgreich betriebenen Flexity Classic Fahrzeuge wurde von der DVG ein Fahrzeug mit ähnlicher Konfiguration gewünscht. Daher wurden möglichst viele Baugruppen und Systeme direkt vom Projekt Essen übernommen. Auf Basis der Lessons Learned aus dem Projekt Essen und dem Anspruch von BT moderne, innovative Fahrzeuge auszuliefern, wurde der Entschluss gefasst, einige Baugruppen wie z.B. Innenverkleidungen und Sitze zu überarbeiten oder neu zu entwickeln.

Abbildung 6: Designbild Projekt Duisburg (Quelle: Bombardier Transportation)

1.5 Problemstellung / Forschungsfragen

Die Aufgabenstellung für diese Diplomarbeit besteht in der erfolgreichen Umsetzung des Konzeptes BT–Leichtbausitz für das Projekt Duisburg. Ziel ist ein Sitzsystem, welches sämtliche Anforderungen des Projektes erfüllt, den internen Anforderungen entspricht und im Rahmen der internen Prozesse bis zur Fertigungsreife entwickelt ist und zur Produktion freigegeben werden kann. Bei der Entwicklung des Sitzsystems sind geeignete Methoden und Prozesse der Produktentwicklung zu wählen, um ein optimales Ergebnis zu erzielen.

Dies umfasst die Analyse der Anforderungen für das Projekt und das Prüfen auf Kompatibilität mit dem bereits vorhandenen Konzept des BT-Sitzes und Abklärung bei Abweichungen mit den zuständigen Stellen. Generell sollten möglichst viele Systeme, Komponenten, Materialien und Ansätze aus bereits bestehenden Projekten übernommen werden, um die Aufwände für das Unternehmen möglichst gering zu

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

halten. Dennoch gilt es, diese bereits bestehenden Konzepte kritisch zu betrachten und Verbesserungsmöglichkeiten und Alternativen dazu aufzuzeigen. Im Hinblick auf die Life Cycle Costs und Plattformtauglichkeit sollen die besten Lösungen ausgewählt und umgesetzt werden. Sind neue Konzepte notwendig, sind diese zu validieren. Hierfür sind die internen Meilensteine *Preliminary Design Review (PDR),* bei welchem das grundlegende Konzept intern zur weiteren Detailierung von sämtlichen Abteilungen freigegeben wird, sowie das *Detailed Design Review (DDR),* bei welchem der finale Entwurf nochmals bewertet wird, erfolgreich abzuschließen.

Das entwickelte Sitzsystem soll nicht nur in dem aktuellen Projekt Duisburg eingesetzt werden können, sondern sollte zukünftig auch als Plattformprodukt dienen. Die Anforderungen und Randbedingungen vor allem in Bezug auf die Topologie des Innenraumes variieren von Projekt zu Projekt oft sehr stark. Daher muss darauf geachtet werden, dass die Konstruktion, sollten geometrische Änderungen notwendig sein, leicht anpassbar ist.

Nicht Ziel der Arbeit sind eine weitere Optimierung durch Lieferanteninputs nach Fertigungsfreigabe sowie das Erstellen von Fertigungszeichnungen und Dokumenten. Etwaig notwendige FEM Simulationen sind ebenso nicht Inhalt der Leistung des Erstellers dieser Arbeit, diese werden von BT internem Fachpersonal durchgeführt. Sehr wohl jedoch sind die Abstimmungen mit diesen zur Erstellung und Auswertung der Simulationen sowie die Optimierung der Konstruktion auf Basis der Simulationsergebnisse Inhalt und Umfang dieser Arbeit.

Aus der Aufgabenstellung lassen sich folgende Fragen ableiten:

- Ist das Konzept BT–Leichtbausitz für das Projekt Duisburg geeignet?
- Welche Anpassungen sind notwendig, um alle Anforderungen zu erfüllen?
- Wie kann man so ein Sitzsystem entwickeln und konstruieren?

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Produktplanung

Bevor ein Produktentwicklungsprozess gestartet werden kann, ist es notwendig, die Rahmenbedingungen abzustecken. Dafür erforderlich ist die Planung folgender drei Produktaspekte [8]:

- Inhaltliche Planung des Entwicklungs- / Konstruktionsprozesses
- Zeitliche und terminliche Planung der notwendigen Arbeitsschritte
- Kostenplanung des Produktes

Bei dem Geschäftsfeld in der Schienenfahrzeugbranche handelt es sich hauptsächlich um ein Business to Business Geschäft, bei welchem man die KundInnen sehr gut kennt [8]. Direkte Kundenaufträge, wie auch für Spezialmaschinenbau und Anlagenbau typisch, resultieren hier in Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben [8].

Planungsvorgänge der Unternehmensleitung, welche in Gruppen außerhalb der Konstruktionsabteilung durchgeführt werden, ergeben, vor allem bei Neukonstruktionen, Aufgabenstellungen für die Konstruktionsabteilung. Planungsvorgänge solcher Art beeinflussen die Arbeit der Konstruktionsabteilung, da diese nicht mehr frei in ihrem Handeln ist und auf die Vorstellungen anderer Rücksicht nehmen muss [8]. Durch den Kontakt zwischen KonstrukteurInnen und den Produktplanungsteams kann die Produktplanung vom Wissen der KonstrukteurInnen über Produktgestaltung profitieren, jedoch kann dieser Prozess bereits auch extern von Kundinnen und Kunden oder Behörden durchgeführt worden sein [8].

2.2 Neuheitsgrad

Die aus der Produktplanung resultierenden Aufgaben bzw. Anforderungen an die Konstruktion können bezüglich ihres Neuheitsgrades unterschieden werden. Dabei ist es wichtig, zwischen der Neuheit für den Markt und für das Unternehmen zu unterscheiden [9].
Unternehmen sind dabei stets bestrebt, eigene, dem Unternehmen bekannte Produkte in neuen Varianten auf dem Markt zu präsentieren und wiederzuverwenden. Dadurch wird der Neuheitsgrad für die KundInnen hoch und für das Unternehmen niedrig gehalten. Niedrige Entwicklungskosten und ein geringeres Risiko für das Unternehmen sind die Vorteile solcher Plattformen, Baukästen oder Modulbauweisen [9].

Dies lässt sich jedoch nicht immer realisieren und es kommt zu komplett neuen Produkten für Markt und Unternehmen. Werden Produkte, welche sich bereits auf dem Markt befinden, von der Konkurrenz nachgeahmt, ist der Neuheitsgrad für das

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Unternehmen als hoch und für den Markt als gering einzustufen. Werden eigene Produkte angepasst oder überarbeitet, sind diese bereits dem Markt und dem eigenen Unternehmen sehr gut bekannt. Der Neuheitsgrad für beide Parteien ist dabei niedrig [9].

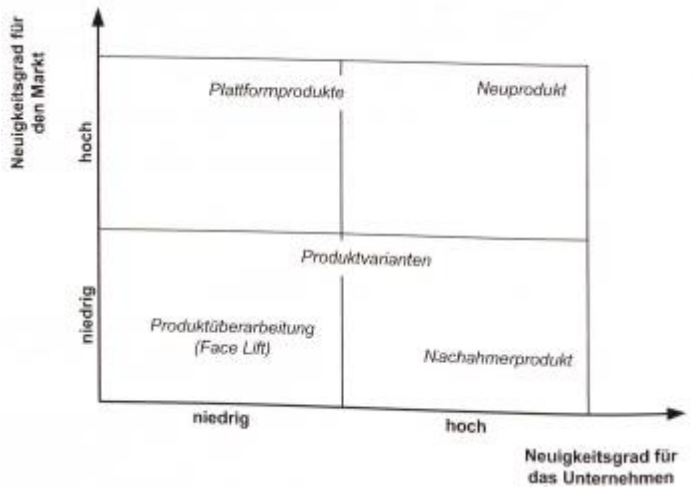


Abbildung 7: Neuheitsgrad aus der Sicht Markt / Unternehmen [9]

2.3 Organisationsform

EntwicklerInnen und KonstrukteurInnen können nicht unabhängig von anderen handeln. Sie sind eingebettet in unternehmensweiten Organisationen. Weiters ermöglichen einem Unternehmen erst die Kommunikation und Kooperation zwischen MitarbeiterInnen aus verschiedenen Abteilungen und Bereichen, innovative und erfolgreiche Produkte zu entwickeln. Daher werden Entwicklungs- und Produktionsaufgaben in Teams erledigt [10]. Um die Tätigkeiten der verschiedenen TeilnehmerInnen möglichst gut aufeinander abzustimmen und ein befriedigendes Endergebnis zu erzielen, braucht es geregelte Verantwortungsbereiche und Arbeitsabläufe. Dies regelt die Aufbau- und Ablauforganisation [11].

Um einen Produktentwicklungsprozess möglichst ressourceneffizient zu gestalten, müssen folgende Punkte beachtet werden [11]:

- Innere Iterationen verringern: Wiederholung desselben Arbeitsschrittes innerhalb eines Hauptarbeitsschritts
- Äußere Iterationen verringern: Rücksprung zu einem bereits durchgeführten Hauptarbeitsschritt
- Weglassen von Arbeitsschritten
- Paralleles Abwickeln von Arbeitsschritten

Zum Erreichen dieser Punkte müssen folgende Forderungen erfüllt sein [11]:

- Entsprechende Produktgestaltung, sodass die Eigenschaften für jeden Prozessschritt exakt modellierbar sind

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- Exakte Definition der Schnittstellen zwischen den Prozessschritten
- Unabhängigkeit der Prozessschritte

Mit dem Arbeiten in interdisziplinären Teams unter diesen Voraussetzungen ist die Basis für Simultaneous Engineering geschaffen. Darunter versteht man die zielgerichtete, interdisziplinäre Zusammen- und Parallelarbeit in der gesamten Produkt-, Produktions- und Vertriebsentwicklung für den vollständigen Produktlebenslauf mit einem straffen Projektmanagement [12].

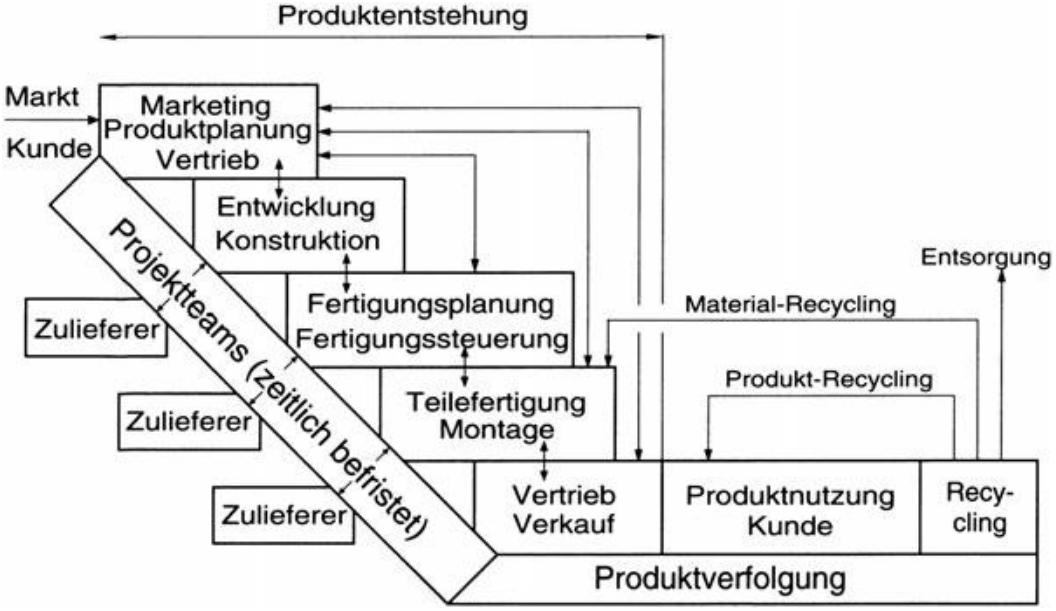


Abbildung 8: Produktentstehungs- und -verfolgungsprozess unter Simultaneous Engineering [11]

Aktivitäten bei einem Produktentstehungsprozess im Simultaneous Engineering verlaufen weitestgehend parallel und werden mit Kontakten zu KundInnen und potenziellen Zulieferbetrieben überlappt (vgl. Abbildung 8). Weiters ist eine ständige Produktüberwachung bis zum Ende des Produktlebenszyklus Teil des Prozesses [11].

2.4 Produkt-Service System

Aufgrund des im Projekt zu berücksichtigenden Wartungsvertrages wird hier nur kurz auf die Besonderheiten eines Produkt-Service Systems (PSS) eingegangen.

Durch die Liberalisierung des weltweiten Handels wurden Eintrittsbarrieren für neue MitbewerberInnen in den verschiedensten Branchen abgebaut. Märkte sind somit für mehrere Unternehmen offen und der Wettbewerb ist intensiver. Diese verschärften Bedingungen bringen AnbieterInnen für Investitionsgüter in die Situation, dass die Kosten-, Technologie- oder Qualitätsführerschaft allein nicht mehr zum Erfolg führen. Deshalb gehen manche Unternehmen den Weg, ihre Produkte mit Serviceleistungen zu koppeln, um KundInnen für sich zu gewinnen. [13]. Bei der Entwicklung und Konstruktion von PSS sind vor allem die LCC niedrig zu halten. Somit gilt es für das

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Entwicklungsteam, die günstigste Variante der Kostenverteilung zwischen Herstellkosten, Selbstkosten und Lebenslaufkosten zu finden.

Unterteilung der Kosten nach [10]:

- Herstellkosten: jene Kosten, welche direkt dem Herstellungsprozess eines Produktes zugeordnet werden können (z.B. Materialkosten und Fertigungskosten)
- Selbstkosten: Kosten, welche nicht direkt der Produktherstellung zugeordnet werden können, welche aber trotzdem Teil des Verkaufspreises sind (z.B. Verwaltungskosten)
- Lebenslaufkosten: sind jene Kosten, welche dem Produktnutzer durch den Kauf und während der Nutzungszeit eines Produktes anfallen

2.5 Produktentwicklungsprozess

Zusätzlich zu der Produkt- und Prozessplanung, welche bereits oben erläutert wurde, ist es vorteilhaft, den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess in folgende Schritte zu unterteilen [8]:

- Planen und Klären der Aufgabe — informative Festlegung
- Konzipieren — prinzipielle Festlegung
- Entwerfen — gestalterische Festlegung
- Ausarbeiten — herstellungstechnische Festlegung

Nicht immer gelingt es, diese vier Hauptphasen scharf zu trennen oder Sprünge zwischen den Phasen zu vermeiden. Dennoch ist es hilfreich, den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess zu unterteilen, um die Planung und Kontrolle bestmöglich zu unterstützen [8]. Die vier Hauptphasen enden jeweils mit einem bedeutsamen Ergebnis, welches die Basis für die folgenden Arbeitsschritte ist. Zum Erzielen solcher Arbeitsergebnisse sind viele Sekundärarbeitsschritte wie Berechnen, Darstellen usw. notwendig, welche von indirekten Tätigkeiten wie Ordnen, Vorbereiten, Besprechen usw. begleitet sind [8]. In den unten erläuterten Hauptphasen werden nur die operativen Hauptarbeitsschritte angeführt, welche für den strategischen Arbeitserfolg zweckdienlich scheinen. Hauptphasen und Hauptarbeitsschritte, wie in Abbildung 9 dargestellt, werden definitiv von Hauptentscheidungsschritten bei dementsprechender Bewertung abgeschlossen bzw. die Freigabe zu Beginn mit dem nächsten Arbeitsschritt erteilt. Bei Nicht-Erreichen eines befriedigenden Ergebnisses kann ein erneutes Durchlaufen des vorhergehenden Prozesses notwendig sein. Diese Iterationsschleife sollte so eng wie möglich gezogen werden [8]. Solche Entscheidungsschritte sind auch bei sekundären Arbeitsschritten notwendig. Individuelles Prüfen und Entscheiden und Abbruch oder Iteration bei nicht zufriedenstellendem Ergebnis resultiert in den geringsten Kosten und im geringsten Zeitverlust. [8]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die erläuterten Vorgehenspläne und angeführten Entscheidungsschritte sind in ihrer Handhabung flexibel und können je nach Problemstellung angepasst werden [8].

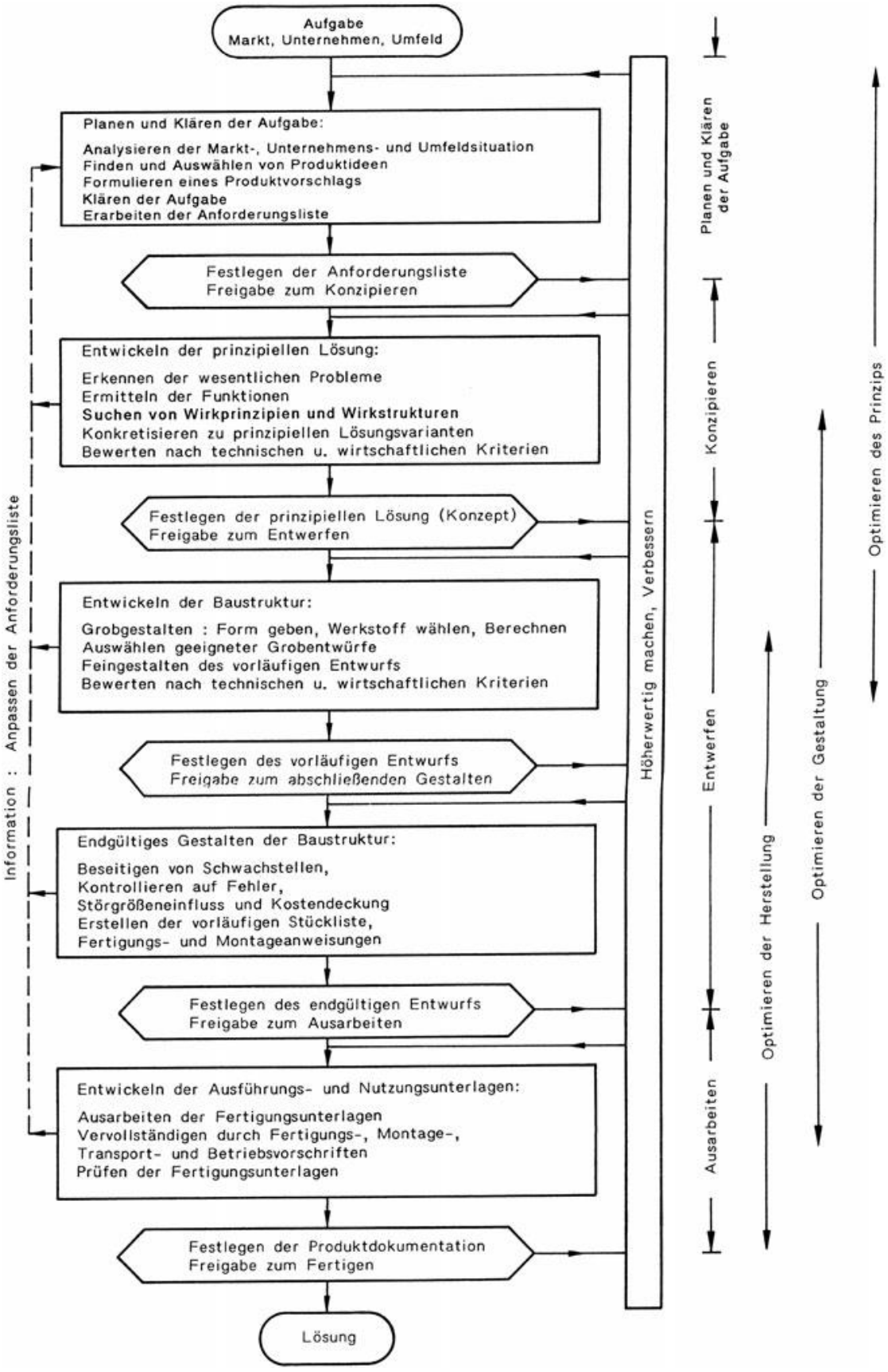


Abbildung 9: Hauptarbeitsschritte des Produktentwicklungsprozesses [11]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2.5.1 Planen, Klären und Präzisieren der Aufgabe

Als Basis für die Entwicklung und Konstruktion dient der / dem KonstrukteurIn die Aufgabenstellung, welche sich, wie oben beschrieben, aus der Produktplanung ergibt. Unabhängig von der Quelle des Konstruktionsauftrages muss die Aufgabenstellung vor Beginn des Entwicklungsprozesses näher erläutert und präzisiert werden [8]. Dies erfolgt durch Analyse der an das Produkt gestellten Ansprüche und Informationsbeschaffung. Eine auf die konstruktive Entwicklung zugeschnittene Anforderungsliste ist das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes. Die Anforderungsliste muss stets auf dem aktuellsten Stand gehalten und abgestimmt werden, da Freigabeprozesse und weitere Arbeitsschritte vom Inhalt abhängig sein können [8]. Die Hauptarbeitsschritte zur Ausarbeitung einer Anforderungsliste sind in Abbildung 10 dargestellt.

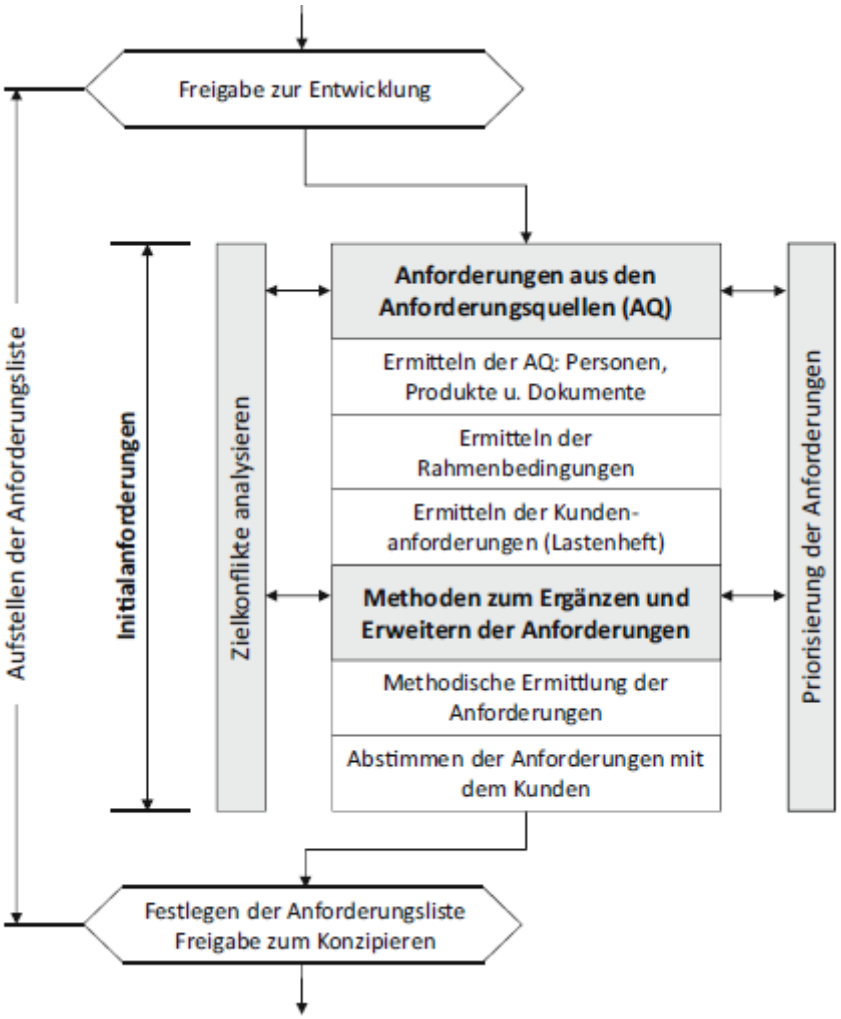


Abbildung 10: Hauptarbeitsschritte zur Erstellung einer Anforderungsliste [11]

Beim Erstellen der Anforderungsliste sind die zuständigen EntwicklerInnen gefordert, die vorhandenen Informationen korrekt zu filtern. Meist enthält der Konstruktionsauftrag neben einem umfangreichen Pflichtenheft auch Informationen über Termine und Kosten. Für die Anforderungsliste notwendige Faktoren, die Einfluss

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

auf die Lösungsfindung und Produktgestaltung haben, müssen erkannt und nach Möglichkeit quantitativ umformuliert werden [11]. Zusätzlich können auch unternehmenseigene Anforderungen sowie allgemein gültige Gesetze, Normen und Verordnungen aufgenommen werden [11]. Auch nicht ausgesprochene Kundenwünsche, also implizite Anforderungen, müssen geklärt und in der Anforderungsliste erfasst werden. Dafür dienlich erwies sich die Klärung mittels folgender Fragen [8]:

- Um welches Problem handelt es sich eigentlich?
- Welche nicht ausgesprochenen Wünsche und Erwartungen bestehen?
- Sind die in der Aufgabenstellung genannten Bedingung zwingend?
- Welche Wege sind für die Entwicklung offen?

Weiters kann es je nach Branche und Anwendung von Vorteil sein, die Anforderungen zu gliedern, um den Anwendenden ein strukturiertes Arbeiten zu ermöglichen [11]. Ein Gliederungsvorschlag anhand der Hauptmerkmale ist in Abbildung 11 dargestellt.

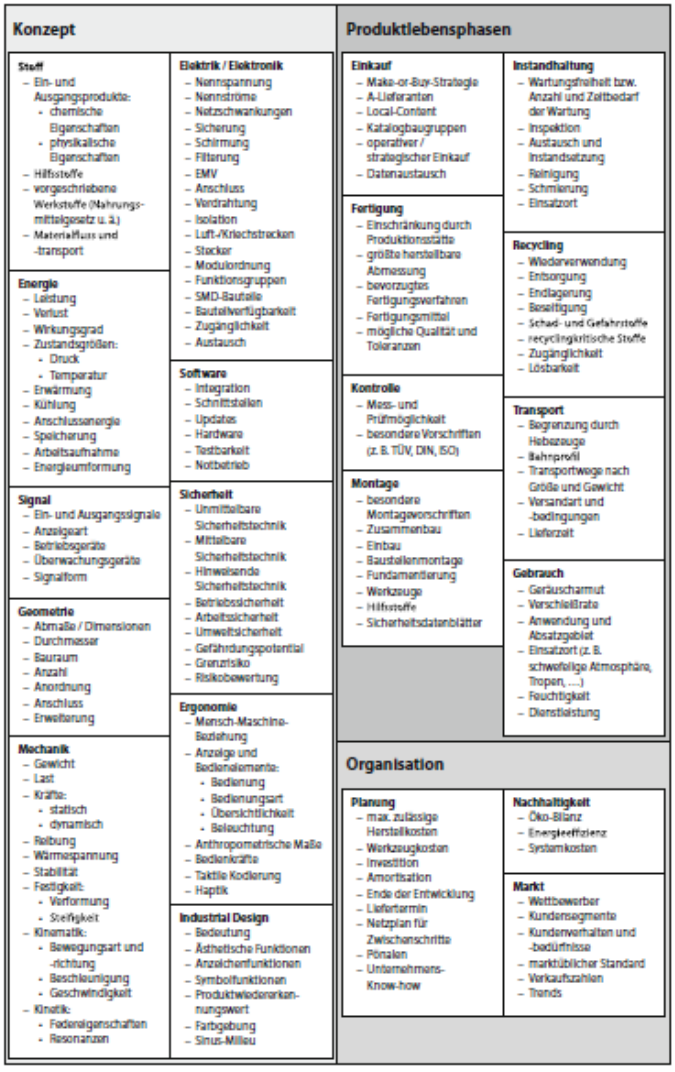


Abbildung 11: Hauptmerkmalliste [11]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2.5.2 Konzipieren

Nach Klärung der Anforderungen ist es notwendig, die wesentlichen Probleme zu abstrahieren. Dies ist bereits Teil des Konstruierens und gelingt durch Aufstellen von Funktionsstrukturen sowie durch Ausarbeiten von Wirkstrukturen und Kombinationen dieser zu einer grundsätzlichen Lösung [8].

„Das Konzipieren ist die prinzipielle Festlegung einer Lösung“ [8].

Wie in Abbildung 9 dargestellt, ist vor dem Konzipieren ein Entscheidungsschritt abzuarbeiten. In diesem Schritt müssen folgende Fragen beantwortet bzw. positiv bewertet werden, um mit dem Konzipieren beginnen zu können [8].

- Ist die Aufgabenstellung soweit klar, können damit die Entwicklung und konstruktive Lösung veranlasst werden?
- Ist eine Konzepterarbeitung notwendig oder gibt es bereits bestehende Lösungen, welche direkt die Grundlage der Entwurfs- und Ausarbeitungsphase sein können?
- Falls die Konzeptphase notwendig ist, wie und in welchem Umfang soll diese im Hinblick auf das methodische Vorgehen gestaltet werden?

Bei einigen Problemstellungen wird eine Lösung erst dann beurteilbar, wenn bereits konkrete Eigenschaften dazu bekannt sind und das Konzept bereits Gestalt annimmt. Zur Darstellung von Funktionsstrukturen können unterschiedliche Formen und Methoden genutzt werden. Je nach Zielsetzung und einschränkender Bedingungen können diese von einfachen Blockdarstellungen von Funktionsstrukturen, Schaltplänen oder Flussdiagrammen bis zu grobmaßstäblichen Skizzen reichen [8]. Grundsätzlich beginnt das Erarbeiten der Funktionsstruktur mit der Formulierung der Gesamtfunktion, auf welche aus der Problemformulierung geschlossen werden kann. Die einzelnen Teilfunktionen und deren folgerichtige Abfolge ergeben sich mit Hilfe diverser Eingangs- und Ausgangsgrößen (z.B. Energiefluss, Materialfluss, Signale, …). Ist ein Funktionsprinzip gefunden, welches weiterverfolgt werden soll, ist es an der Zeit, auf dessen Basis Lösungsprinzipien zu erarbeiten. [8]

Es ist festzuhalten, dass fast kein Lösungsprinzip auf Dauer als optimal zu betrachten ist. Neue Erkenntnisse im Bereich der Werkstoffwissenschaften, Fertigungstechnik, Arbeitsverfahren usw. sowie neue Kombinationen anderer Prinzipien ermöglichen möglicherweise bessere Lösungsprinzipien [8]. Jedenfalls können unterschiedliche Methoden zur Erarbeitung von Lösungsprinzipien herangezogen werden. Brainstorming, Analyse von bestehenden ähnlichen Produkten, Literaturrecherche oder systematische Herangehensweisen, wie im folgenden Absatz beschrieben, können zur Lösungssuche beitragen. [8]

Eine systematische Lösungssuche mit Hilfe eines Ordnungsschemas erweist sich aus folgenden Gründen als hilfreich. Zum einen wird zur Suche nach neuen Lösungen für

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

bestimmte Funktionen angeregt, zum anderen fällt durch die strukturierte Darstellung das Verknüpfen von Lösungen auf Basis der jeweiligen Lösungsmerkmale wesentlich leichter [8]. Da Ordnungsschemata sehr häufig angewendet werden, haben sich diverse Schemata entwickelt, die Grundidee dahinter und damit der Aufbau sind jedoch meist ähnlich und in Abbildung 12 dargestellt [8]. Ordnungsschemata werden oft auch als morphologische Kästen bezeichnet und gliedern sich in Spalten und Zeilen, wobei es in beiden Dimensionen (oder auch nur in einer) ordnende Gesichtspunkte gibt [8]. Für das später notwendige Kombinieren von Teillösungen zu einer Gesamtlösung ist es vorteilhaft, in den Zeilen die jeweiligen Hauptfunktionen einzutragen und in den Spalten die dazugehörigen Lösungsprinzipien. So kann durch Auswählen einer Lösung aus jeder Zeile eine Gesamtlösung kombiniert werden [8].

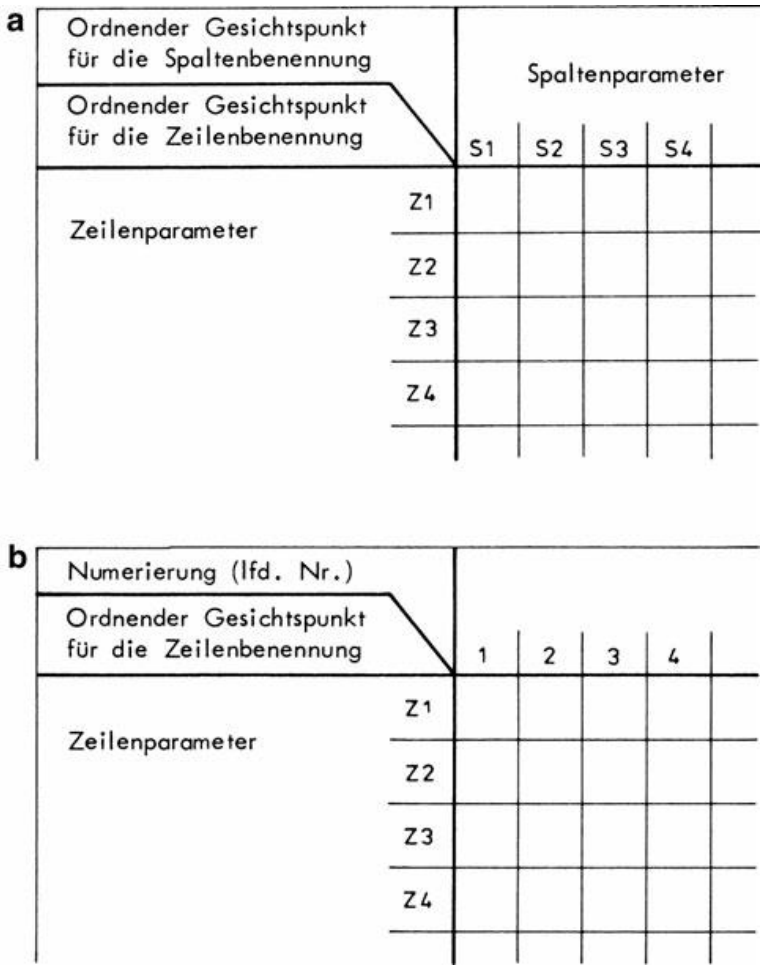


Abbildung 12: Allgemeiner Aufbau eines Ordnungsschemas [8]

Um ein effizientes Arbeiten zu gewährleisten, ist es oft vorteilhaft, nur die wesentlichsten Teilfunktionen in ein Ordnungsschema zu integrieren. Lösungsprinzipien, welche bereits beim Erstellen des Ordnungsschemas als nicht zielführend erscheinen, sollten ebenso möglichst früh durch Durchstreichen im Schema ausgeschlossen werden. [8]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Mit Hilfe des Ordnungsschemas bzw. morphologischen Kastens können nun Gesamtlösungen kombiniert werden. Ist m_n die Anzahl der Lösungen pro Hauptfunktion n, ergeben sich theoretisch

$$N = \prod_{i=1}^{n} m_i$$

Formel 1: Theoretische Variantenanzahl

Gesamtlösungsvarianten [8]. Es ist jedoch zu beachten, dass nicht alle theoretisch möglichen Lösungskombinationen auch umsetzbar sind. Das Erkennen von nicht kombinierbaren Lösungen wird durch das Verwenden eines Ordnungsschemas erleichtert, eine Optimierung kann durch Erweitern der Schemata mittels Prinzip-Skizzen, wichtiger Eigenschaften und günstiger Anordnungen erzielt werden. [8]

Bei der Kombination der Wirkprinzipien zu einer Gesamtlösung sind folgende Punkte zu beachten [8]:

- Nur verträgliche Einzellösungen miteinander verknüpfen
- Nur jene Lösungen weiterverfolgen, die Anforderungen zu erfüllen und im Rahmen des zulässigen Aufwandes realisierbar scheinen
- Günstige Kombinationen herausheben und analysieren

Da das methodische Vorgehen bei der Lösungssuche ein sehr großes Ergebnisfeld liefert, welches in der Praxis oft nicht handhabbar ist, müssen die Lösungsvarianten möglichst früh reduziert werden. Hierzu ist die Nutzwertanalyse nach VDI 2225 eine Möglichkeit, um mittels aufgestellter Bewertungskriterien und einer definierten Bewertungsskala die jeweiligen Nutzwerte der Lösungsvarianten zu ermitteln [8].

Neben der Nutzwertanalyse gibt es noch diverse andere Methoden zum Vergleich von unterschiedlichen Konzepten, welche sich in ihrer Anwendung und im Output unterscheiden. Einen Überblick über etablierte Methoden, klassifiziert nach Zeitaufwand und Aussagegüte, ist in Abbildung 13 dargestellt [11].

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

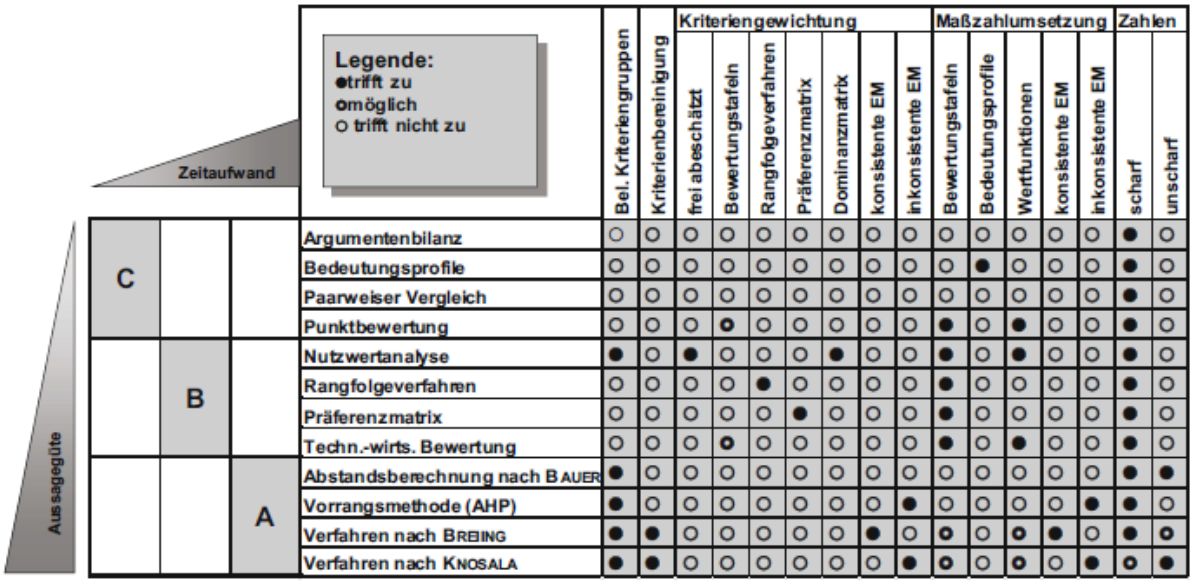


Abbildung 13: Überblick und Klassifizierung etablierter Bewertungsverfahren [11]

2.5.3 Entwerfen

Beim Entwerfen werden die zuvor ausgearbeiteten Wirkstrukturen und Prinzip-Lösungen nach technischen und wirtschaftlichen Aspekten greifbar und ausführlich ausgearbeitet. Dies ist bereits ein Teil des Konstruierens von technischen Produkten, da die qualitativen Vorstellungen der Lösungen quantitativ gestalterisch festgelegt werden [8].

Oft wird es notwendig oder zweckmäßig sein, mehrere Entwürfe parallel oder zeitlich hintereinander im Sinne von Iterationen mit höherem Informationsstand anzufertigen, um somit verschiedene Varianten mit den jeweiligen Vorzügen und Mankos zu erhalten. Diese Vor- bzw. Nachteile werden mittels der technischen und wirtschaftlichen Bewertung eruiert, welche die Phasen des Entwerfens abschließt oder zu einem erneuten Durchlauf zwingt [8].
Nach dieser Bewertung kommt es oft zu einer Favorisierung einer einzelnen Variante, welche jedoch noch nicht ganzheitlich alle Bedürfnisse und Anforderungen zur Genüge befriedigt. Teillösungen anderer Entwürfe, welche in die bevorzugte Variante implementiert werden können, bereichern den Entwurfsprozess und merzen etwaige während der Bewertung festgestellte Defizite aus. Somit ergibt sich ein endgültiger Gesamtentwurf [8].

Dieser Gesamtentwurf sollte bereits alle Anforderungen bezüglich Topologie, Funktion, Lebensdauer usw. erfüllen, ebenfalls sollte das Kostenziel erfüllbar sein, um die Freigabe zur Ausarbeitung zu erhalten [8].

Das Entwerfen enthält neben den kreativen Tätigkeiten auch sehr viele korrektive Arbeitsschritte, dies beruht darauf, dass Phasen der Analyse und Synthese alternieren

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

und sich somit ergänzen. Neben den bereits in der Konzeptfindung angewendeten Methoden zur Lösungsfindung, Auswahl und Bewertung kommen ebenso Methoden zur Fehlererkennung und Optimierung zum Einsatz. Der Arbeitsaufwand für die Beschaffung von Informationen über Werkstoffe, Fertigungsprozesse, Standardteile, Normen und weitere Details ist oft nicht unerheblich. Weiters ist der Entwurfsvorgang sehr komplex, müssen doch viele Aktionen parallel ausgeführt und manche aufgrund einer besseren Informationsbasis wiederholt werden. Ebenfalls haben etwaige Änderungen Auswirkungen auf bereits entworfene Teilbereiche [8].

Daher wäre ein strenger Ablaufplan nicht zweckmäßig und nur sehr schwer aufstellbar, jedoch kann ein prinzipieller Plan zum Vorgehen wie in Abbildung 14 mit den jeweiligen Hauptphasen und Schritten des Entwerfens herangezogen werden. Je nach Aufgaben- und Problemstellung kann das Vorgehen angepasst werden oder Abweichungen von einzelnen Arbeitsschritten können notwendig sein [8].

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

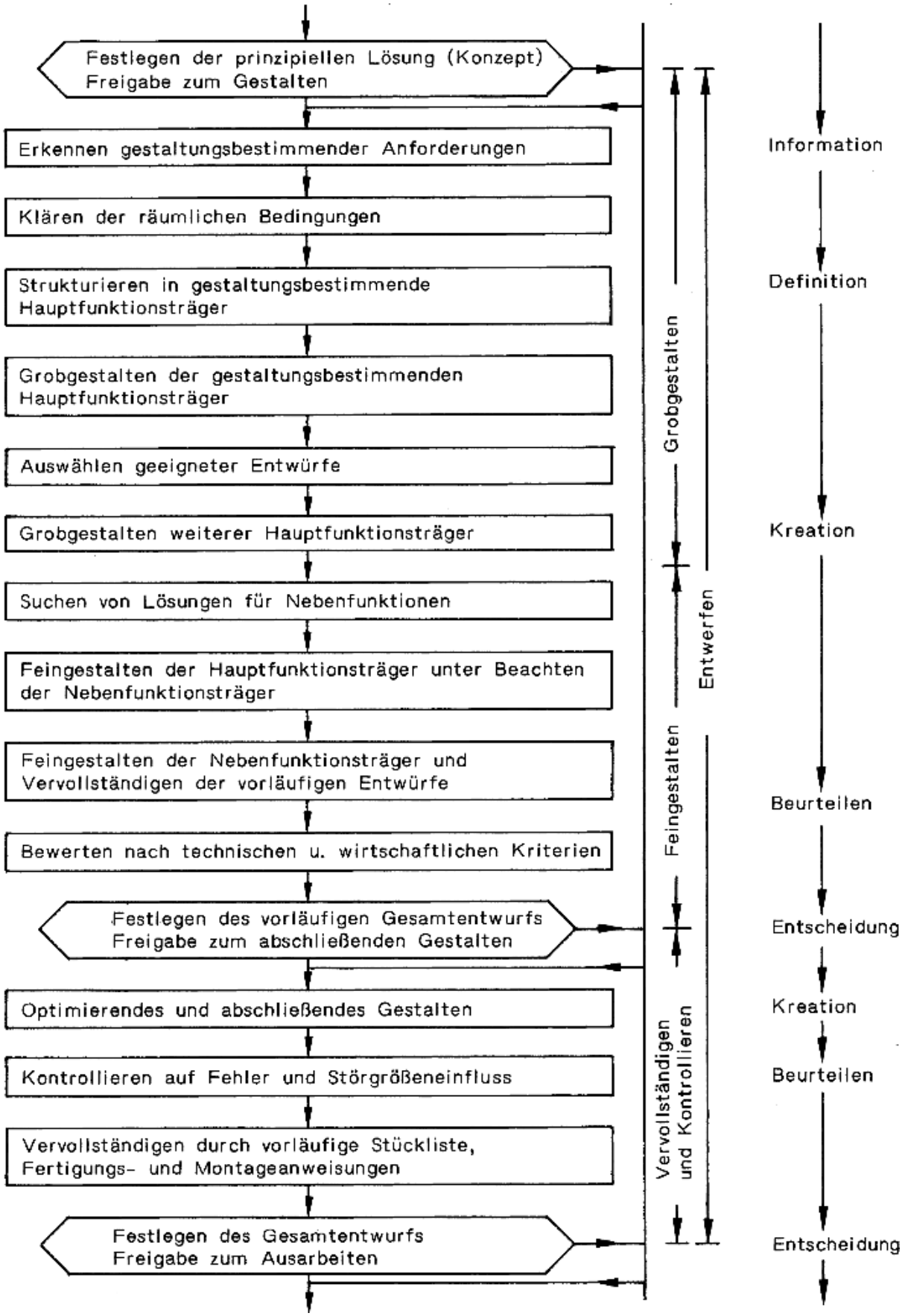


Abbildung 14: Hauptarbeitsschritte beim Entwerfen [8]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2.5.4 Ausarbeiten

Die Tätigkeit des Ausarbeitens ist jener Teil des Konstruierens, welcher einem technischen Produkt durch Zuweisung endgültiger Vorschriften und Eigenschaften seine Gestalt vorgibt. Eigenschaften wie Oberflächenbeschaffenheit, Formen, Toleranzen, Werkstoffe usw. werden zugewiesen und damit ebenso die Kosten fixiert. Weiters müssen im Rahmen des Ausarbeitens die Möglichkeiten zur Herstellung und zum Gebrauch überprüft werden. Das Ergebnis der Ausarbeitung sind verbindliche Zeichnungssätze mit weiteren Unterlagen anbei, welche die Verwirklichung und Nutzung des Produktes festlegen [8].
Diese Tätigkeiten werden großteils durch graphische Datenverarbeitung gestützt und können teilweise automatisiert ablaufen. Trotz dieser Möglichkeit bezieht sich der Schwerpunkt der Ausarbeitung nach wie vor auf die Erstellung dieser Dokumente wie Einzelteil-, Fertigungs-, Baugruppen-, Montagezeichnungen, Stücklisten und weiterer Fertigungsunterlagen. Die Art und der Umfang der Dokumente können je nach Branche und Fertigungsart stark variieren. Diese Unterlagen dienen vor allem zur Arbeitsvorbereitung, können aber auch Einfluss auf die Qualitätssicherung und den Transport der Produkte haben [8].

Das Ausarbeiten kann, so wie die vorherigen Phasen, ebenso in Arbeitsschritte unterteilt und mittels eines Ablaufplans (siehe Abbildung 15) beschrieben werden. Neben der Detailierung der einzelnen Dokumente werden ebenso Optimierungen in Bezug auf Oberflächen, Form, Werkstoffe usw. durchgeführt. Das Ziel dieser Optimierung sollte eine günstige Detailgestaltung mit Hinblick auf Kosten, Fertigung und Ausnutzung sein [8]. Maßgeblich entscheidend für den Erfolg der Fertigung des Produktes ist das Prüfen der angefertigten Unterlagen vor der finalen Freigabe. Folgende vier Gesichtspunkte müssen hier nochmals genau überprüft werden [8]:

- Einhaltung von Normen und Werksnormen
- Eindeutige fertigungsgerechte Bemaßung
- Sonstige erforderliche Fertigungsangaben
- Beschaffungsgesichtspunkte (z.B. Lagerteile)

Die Unterteilung des Gesamtproduktes in einzelne Gruppen (Baugruppen), welche wieder aus Untergruppen und Einzelteilen bestehen können, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Die Terminschiene, Montagereihenfolge, Zukaufgruppen usw. geben die Baugruppenstruktur vor. Geeignete Systeme zur Erstellung von Stücklisten und Vergabe von Teile- und Zeichnungsnummern sind notwendig [8].

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

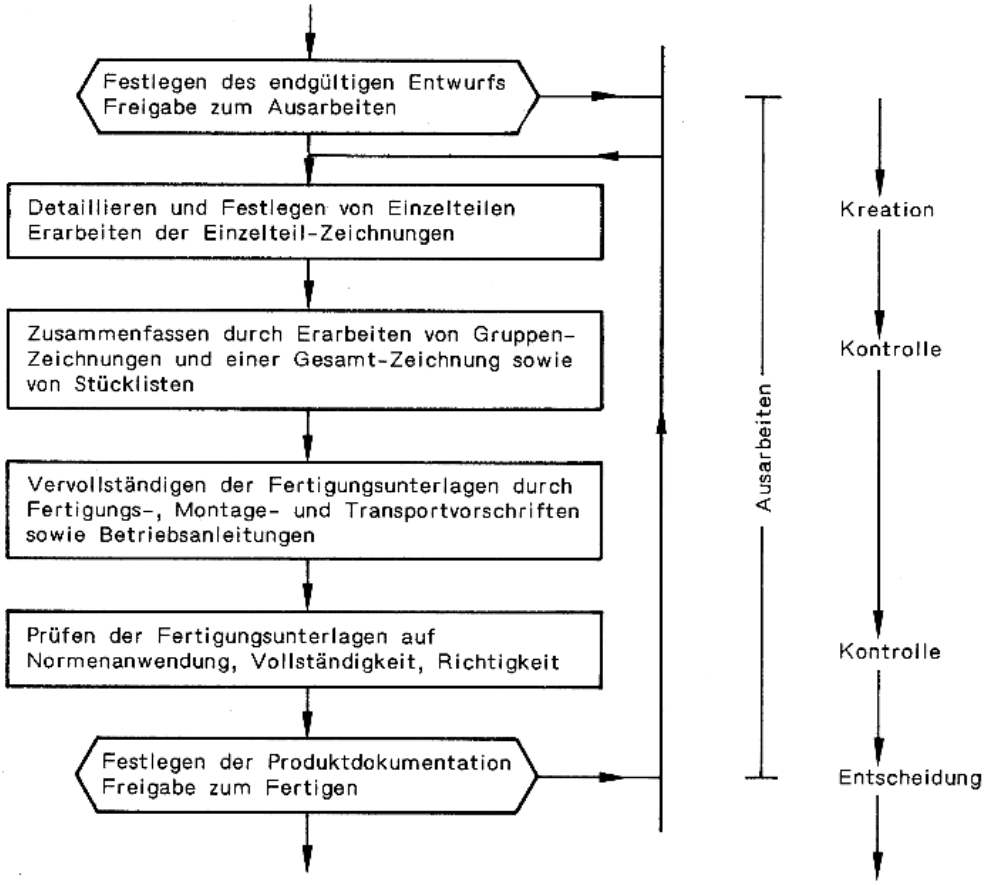


Abbildung 15: Arbeitsschritte beim Ausarbeiten [8]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3 Produktentwicklung am Beispiel eines Sitzsystems für leichte Schienenfahrzeuge

3.1 Klären der Aufgabe

Üblicherweise wird bei BT im Interieurbereich projektspezifisch nach Kundenanforderungen konstruiert und entwickelt. Anforderungen belaufen sich hauptsächlich auf jene, welche anhand von Pflichten- und Lastenheften übermittelt, abgestimmt und dokumentiert werden, sowie branchenüblicher Normen und interner Standardanforderungen. Dies ergibt sich aus den je nach Projekt bzw. AuftraggeberIn sehr unterschiedlichen Designwünschen, Umgebungseinflüssen und Vertragsbedingungen. Allgemeine interne Anforderungen an Konstruktionen sind zum größten Teil in der BT–LRV Konstruktionsrichtlinie Teil A (KRL A) bzw. daran angehängten Dokumenten vermerkt. Mittels Technical Requirement Documents (TRD) werden spezielle Anforderungen an gewisse Komponenten und Materialien festgelegt, dies trifft zum Beispiel für Aluminiumgussteile, GFK- Komponenten und beschichtete Oberflächen zu. Sind projektspezifische Abweichungen oder Ergänzungen zu der KRL A zu beachten, werden diese in der für jedes Projekt erstellten Konstruktionsrichtlinie Teil B (KRL B) vermerkt und kommuniziert. Ebenso bestehen für einige Projekte individuelle Material- bzw. Bauteil-TRDs, um die Anforderungen der AuftraggeberInnen dementsprechend abzubilden, den LieferantInnen zu kommunizieren und den internen Aufwand möglichst gering zu halten.

Da es sich bei der Entwicklung des Sitzsystems für das Projekt Duisburg um die Entwicklung eines Plattformsitzes handelt, welcher auch in zukünftigen Projekten eingesetzt werden soll, ist die Abbildung der internen und externen Anforderungen anhand der BT üblichen Methoden nur bedingt praktikabel. Neben den allgemeinen internen sowie den projektspezifischen Anforderungen müssen ebenso die Anforderungen möglicher Zukunftsprojekte beachtet werden bzw. muss auf die Plattformtauglichkeit geachtet werden. Durch das Erstellen einer Anforderungsliste können sämtliche Bedingungen für die Entwicklung gesammelt, abgestimmt und auf dem aktuellen Stand gehalten werden.

3.1.1 Anforderungsliste

Als Quellen zur Erstellung der Anforderungsliste dienten vor allem das Lastenheft inklusive Anhänge, die marktüblichen Normen und Verordnungen, Abstimmungsdokumente zwischen BT und EndkundInnen sowie interner Abstimmungen. Diese Dokumente wurden genau analysiert und die daraus zutreffenden Anforderungen abgeleitet.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Höchste Priorität beim Erstellen der Anforderungsliste hatten natürlich die Forderungen der DVG, demzufolge wurden sämtliche Anforderungen aus dem Lasten- bzw. Pflichtenheft in die Anforderungsliste übernommen und mit der jeweiligen Pflichtenheft ID versehen. Weitere Kundenforderungen, welche mittels anderer Dokumente oder Abstimmungen kommuniziert wurden, sind ebenso in der Anforderungsliste dokumentiert und mit einem etwaigen Dokumententitel versehen. Dies erwies sich vor allem bei der Diskussion über die genaue Formulierung als sehr praktisch, da jederzeit auf den Originaltext der jeweiligen Forderung zugegriffen werden konnte.

In der Anforderungsliste, wie in Tabelle 1 bis Tabelle 4 abgebildet, wurde weiters zwischen Forderung und Wunsch unterschieden. Im Gegensatz zu Forderungen, welche zwingend erfüllt werden müssen, können Wünsche erfüllt werden, müssen aber nicht. Wünsche können auch bei der Konzeptanalyse als zusätzliches Kriterium nützlich sein. Informationen sind Anforderungen, welche die Ausführung der Sitze nicht direkt beeinflussen, jedoch als Information nützlich sein können. Diese wurden in der rechten Spalte mit N für nicht relevant gekennzeichnet. Weiters wurde eine Spalte mit den Initialen der zuständigen Person, welche für die Erfüllung der jeweiligen Anforderung verantwortlich ist, eingefügt. Bei Anforderungen, welche mehr als eine Person betreffen, zum Beispiel bei Themenüberschneidungen mit Fachbereichsverantwortlichen oder bei Anforderungen, welche Schnittstellen zu anderen Baugruppen betreffen, wurden mehrere Kurzzeichen vermerkt.

Einträge unter M.A. beziehen sich auf Markus Aigner, den Verfasser dieser Arbeit und zuständigen Ingenieur für die Entwicklungen an den Sitzen im Projekt Duisburg.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Produkt		Ersteller	Datum	Letzte Überarbeitung	
BT Sitz		Markus Aigner	03.04.18	13.08.19	
Nr.	W / F	Anforderungsliste BT Sitz Duisburg Anforderungen	BOMBARDIER TU WIEN Reverenz	Verantwortlich	J / N
1.0		Stoff			
1.1	F	Antigraffitistoffe für Polstersitze sowie Vandalismus hemmende Sitzschalen sind zu verwenden. Anm.: Mustervorstellung Sitz in Bautzen	318	M.A. / U.R.	J
1.2	F	Die Widerstandsfähigkeit der verwendeten Materialien und Komponenten gegen mutwillige Beschädigung ist zu realisieren. Anm.: Mustersitzvorstellung Sitz in Bautzen	319	M.A. / U.R.	J
1.3	F	Die Materialien müssen für die auftretenden Beanspruchungen geeignet und der Lebensdauer des Fahrzeuges angepasst sein. Insbesondere müssen die Materialien von Licht- und Temperaturschwankungen weitgehend unbeeinflussbar sein. Formänderungen, Rissbildungen, Klapper- und Knarrgeräusche dürfen nicht auftreten.	602	M.A.	J
1.4	F	Die Sitzschalen und Sitzbezüge müssen den Brandschutzanforderungen nach EN 45545 HL-2 und TR Brandschutz BoStrab entsprechen.	638	M.M. / M.A.	J
1.5	F	Die Sicherheit bei Vandalismus muss glaubhaft dargestellt und sichergestellt werden.	638	M.A.	J
1.6	W	Möglichst viele Materialien, welche bereits für den BT-Sitz verwendet werden sollen wiederverwendet werden.	intern	M.A.	J
1.7	W	Kunststoffbauteile sollen durchgefärbt sein	intern	M.A.	J
1.8	F	Reinigungsmittelbeständigkeit der Oberflächen, gegen die Reinigungsmittel nach Anhang 5.7	204	M.A. / S.S.	J
1.9	F	Die Haltestangen sind in unbeschichtetem, gebürstetem und nichtrostendem Material (Edelstahl) herzustellen.	665	M.A.	J
2.0		Energie			
		-			
3.0		Signal			
3.1	F	Bei sämtlichen Verriegelungen muss eindeutig zwischen dem offenen und geschlossenen Zustand unterschieden werden können.	intern	M.A.	J
4.0		Geometrie			
4.1	F	Es sind mindestens 64 Sitz-, 130 Steh- und 6 Klappsitze vorhanden. Die Anordnung ist der Anlage "BTG_PH_8.3.2_F020_Platzangebot_20180219" zu entnehmen.	406	M.A. / U.R.	J
4.2	W	Bei der Bestuhlung ist eine möglichst große Gangbreite zu ermöglichen.	633	M.A.	J
4.3	F	Alle Fahrzeuge sind vorzurüsten. Die Fahrzeugkonstruktion muss so ausgelegt werden, dass ein Fahrausweisautomat mit einem Gewicht von 200 kg in WGT1 und WGT2 jederzeit ohne mechanische Nacharbeiten nachgerüstet werden kann.	687	N.R.	N
4.4	W	Auch wenn grundsätzlich eine möglichst große Zahl von Sitzplätzen erwünscht ist, muss eine gute Zugänglichkeit gegeben sein. Die Anordnung darf den Durchgang und den Fahrgastfluss nicht beeinträchtigen.	643	M.A.	J
4.5	F	An der Sandkastenverkleidung (Sitzkastenverteilung) muss vom Fahrzeuginneren eine Kontrollmöglichkeit mit einer entsprechend großen Öffnung vorhanden sein, die bei Einsatz von Sandstreugebläsen oder Ähnlichem einen Ausbau ermöglicht, ohne dass der komplette Sandkasten ausgebaut werden muss.	1199	M.A.	J
4.6	W	Die Konstruktion soll einfach an die Gegebenheiten in anderen Fahrzeugtypen und deren Schnittstellen anzupassen sein.	intern	M.A.	J
5.0		Mechanik			

Tabelle 1: Anforderungsliste Teil 1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub TU WIEN

5.1	F	Die Radlast darf an keinem der Räder 50 kN überschreiten.	232	G.B.	N
5.2	F	Maximalgewichte nach Masseliste Duisburg	intern	M.A.	J
5.3	F	Festigkeitsnachweis nach VDV 152	219	M.A. / E.S.	J
5.4	F	Verriegelungen dürfen im Betrieb kein Klappern oder sonstige Geräusche verursachen.	Abstimmung U.R, R.D.	M.A.	J
5.5	W	Sitzschale ohne Demontage der Sitzgruppe demontierbar	intern	M.A.	J
5.6	F	Spalte zwischen den Sitzen sind nicht zulässig	640	M.A.	J
5.7	W	Durch das neue Konzept für die Sitzgruppen im Wgt 1 soll die Wartung der Sandungsanlage vereinfacht werden.	intern	M.A. / A.P.	J
5.8	F	Klappen müssen mit Vierkantschlüssel zu öffnen sein.	Abstimmung U.R, R.D.	M.A:	J
6.0		**Elektrik / Elektronik**			
		-			
7.0		**Software**			
		-			
8.0		**Ergonomie**			
8.1	F	Alle Sitze im Fahrgastraum sind in moderner, körpergerechter Formgebung zu gestalten. Die Sitze (d.h. Sitzfläche und Rückenlehne) sollten anatomisch geformt und alle derart angeordnet sein, dass sie im Fußbereich und im Abstand zu Vordersitzen auch großen Personen genügend Platz bieten (Bein- und Fußfreiheit), um gerade sitzen zu können. Hierbei ist eine Sitzfläche von mind. 400mm Breite und 370mm Tiefe sowie eine entsprechende Rückenlehne von mind. 500mm vorzusehen.	632	M.A.	J
8.2	F	Sitztiefe: 440 mm	BTG_F038_20171023_RevA	M.A.	J
8.3	F	Sitzbreite Doppelsitz: 420 mm	BTG_F038_20171023_RevA	M.A.	J
9.0		**Design**			
9.1	F	Die finale Innenraumgestaltung wird gemeinsam in der Anlage "BTG_9.4.3.1_F036_2018xxxx" erarbeitet (Basis Designentwurf aus dem Angebot mit handschriftlichen Eintragungen, Projektbild mit Bestuhlung BTG_PH1.3a_2018xxxx und Haltestangenkonzept).	609	U.R.	N
9.2	F	Jeder Sitzplatz wird aus einer Einzelsitzschale bestehen.	634	M.A.	J
9.3	F	Sogenannte Mutter-Kind-Sitze (Anderthalb-Sitze) dürfen nicht verbaut werden.	635	M.A.	J
9.4	F	Es sind Einzelsitze ohne Armlehnen auf Sitzgestellen vorzusehen.	637	M.A.	J
9.5	F	Die Einzelsitzschalen sind einheitlich auszuführen, sie können zu Doppel- oder Mehrplatzsitzen kombiniert werden. Die Abstützung darf nicht gangseitig erfolgen.	639	M.A.	J
9.6	F	Im Bereich des Kinderwagen- bzw. Rollstuhlplatzes sind Klappsitze anzuordnen, die Klappsitze sind ebenfalls als Einzelsitze auszubilden. Die Klappsitze sind dem Design der fest installierten Sitze anzupassen. Sitztyp und Ausführung sind in Anlage "BTG_PH7.7_F038_2018xxxx" dargestellt und werden im weiteren Projektverlauf abgestimmt.	641	M.A.	J
9.7	F	Die Anordnung von Sitzen quer zur Fahrtrichtung kommt dort infrage, wo dies zur Raumausnutzung günstig ist (z.B. bei Klappsitzen oder eingeschränktem Platz).	642	M.A. / U.R	J
9.8	F	Der Füllstand des Sandkastens muss über ein Schauglas vom Wageninnern aus für den Fahrer/in eindeutig und leicht erkennbar sein.	1201	M.A. / A.P.	J
9.9	F	Fahrgastsitze und Klappsitze müssen mit dem Konzept des BT-Leichtbausitzes ausgeführt werden	intern	M.A.	J

Tabelle 2: Anforderungsliste Teil 2

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9.10	F	Bei Reihenbestuhlung sind an den Rückseiten der Sitzlehnen für den Fahrgast gut erreichbare Festhaltemöglichkeiten und Stehhilfen vorzusehen, die ohne Beeinträchtigung der davor sitzenden Fahrgäste genutzt werden können.	671	M.A.	J
9.11	F	Im geschlossenen Zustand sichtbare Scharnierbänder oder sonstige sichtbare Befestigungselemente werden nicht verbaut.	613	M.A.	J
10.0		**Einkauf**			
10.1	F	Build to Print Strategie für die Sitzkomponenten	intern	M.A.	J
10.2	F	Sitzbaugruppen werden bei Systemlieferant zugekauft	intern	E.W.	N
11.0		**Fertigung**			
11.1	W	Vermeiden von Sondermaschinen	intern	M.A.	J
11.2	W	Die gewählten Fertigungsmethoden sollen der für das Projekt notwendigen Stückzahl entsprechen.	intern	M.A.	J
11.3	W	Auf Kleben soll möglichst verzichtet werden	intern	M.A.	J
12.0		**Kontrolle / Sicherheit**			
12.1	F	Es gelten die Vorschriften der BOStrab, die allgemein anerkannten Regeln der Technik, VDV sowie die Belastungen aus dem Netz der Betreiber.	219	M.A.	J
12.2	F	Die Innenausstattung muss in ihren brandschutztechnischen Eigenschaften den zum gegenwärtigen Zeitpunkt gültigen Vorschriften nach DIN EN 45545 und den TR-Brandschutz BOStrab entsprechen (Anhang 4.14)	605	M.M. / M.A.	J
12.3	F	Bauartbedingte Spalte der Klappsitze dürfen keine Quetschgefahr für die Fahrgäste darstellen. Es ist hierbei die Norm DIN EN 1176 anzuwenden. (Spalte zwischen sich bewegenden Teilen müssen größer 25 mm oder kleiner 8 mm sein um das Einklemmen von Fingern zu verhindern.)	641	M.A. / M.W.	J
12.4	F	Das Konzept muss dem zuständigen Sicherheitsingenieur vorgestellt werden.	intern	M.A. / M.W.	J
12.5	F	Bei bewegten aneinanderstoßenden Teilen muss ein Kantenschutzprofil verwendet werden um das Verletzen von Fingern zu vermeiden	intern	M.A.	J
12.6	F	Betätigungsmechanismen müssen vor unsachgemäßer und unautorisierter Betätigung geschützt werden.	intern	M.A.	J
12.7	F	Einhalten der KRL A	intern	M.A.	J
12.8	F	Einhalten der KRL B	intern	M.A.	J
12.9	F	Anwenden zutreffender Bauteil TRDs	intern	M.A.	J
13.0		**Montage**			
13.1	F	Montage / Demontage der gesamten Sitzgruppen im fertiggestellten Fahrzeug muss möglich sein	intern	M.A.	J
13.2	W	Sonderwerkzeuge zur Montage / Demontage sollen vermieden werden	intern	M.A.	J
13.3	F	Die gesamte Innenausstattung ist so zu gestalten, dass Verkleidungen, Sitze und dergleichen im Reparaturfall leicht lösbar sind. Die Montage bzw. Demontage ist im Instandhaltungsbuch darzustellen.	600	M.A. / P.H.	J
13.4	W	Montage soll möglichst einfach möglich sein	intern	M.A.	J
14.0		**Instandhaltung**			
14.1	F	Für Fahrgastsitze sind die Tauschzeiten (Tauschzeiten sind Zeiten, bei denen nur das speziell benannte Bauteil ausgebaut werden muss und nicht zusätzlich Anbauteile), Inbetriebnahmezeiten, Fahrzeugstandzeiten (Tausch- + Inbetriebnahmezeit + De-/ Montage evtl. Anbauteile sowie evtl. Rüstzeit) im Instandhaltungsbuch anzugeben und nachzuweisen	279 / 287	M.A. / P.H.	J
14.2	F	Bei der Innenraumgestaltung ist eine gute Reinigungsfähigkeit vorzusehen. Hierbei ist besonders zu berücksichtigen, dass der Innenraum feucht / nass gereinigt wird.	317	M.A. / S.S.	J
14.3	F	Die eingesetzten Materialien sind so zu wählen, dass mutwilligen Zerstörungen vorgebeugt wird. Darüber hinaus muss ein schnelles Auswechseln der Teile gegeben sein.	601	M.A. / P.H.	J

Tabelle 3: Anforderungsliste Teil 3

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

14.4	F	Eine gut zugängliche Befüllmöglichkeit von innen zum Nachfüllen des verbrauchten Sandes muss an jedem Sandkasten vorhanden sein.	1198	M.A. / A.P.	J
15.0		**Recycling**			
		-			
16.0		**Transport**			
16.1	W	Sitzgruppe soll komplett vormontiert angeliefert werden.	intern	E.W.	N
17.0		**Gebrauch**			
17.1	F	Muss unter folgenden Umwelteinflüssen funktionieren:	intern	M.A.	J
17.2	F	Solarstrahlungsdauer 1511 h/ a	intern	M.A.	J
17.3	F	Temperaturbereich: -25°C bis +70°C	intern	M.A.	J
17.4	F	Luftfeuchtigkeit: 20% bis 100 %.	intern	M.A.	J
17.5	F	Mechanismen müssen auch nach langen Stehzeiten leichtgängig sein	intern	M.A.	J
17.6	F	Mindestlebensdauer 32 Jahre	intern	M.A.	J
18.0		**Planung**			
18.1	W	PDR nach EMV Liste	intern	M.A.	J
18.2	W	DDR nach EMV Liste	intern	M.A.	J
18.3	F	Freigabe nach EMV Liste	intern	M.A.	J
19.0		**Nachhaltigkeit**			
		-			
20.0		**Kosten**			
20.1	W	Einmalkosten möglichst vermeiden, durch Wiederverwendung von Konzepten und Komponenten aus Altprojekten	intern	M.A.	J
20.2	W	Wiederkehrende Kosten möglichst gering halten	intern	M.A.	J
20.3	F	Optimierung hinsichtlich Servicekosten mit RAM LCC	intern	M.A. / P.H.	J

Tabelle 4: Anforderungsliste Teil 4

Sämtliche Anforderungen wurden mit den zuständigen Personen bei BT diskutiert und eventuell mit den KundInnen genauer definiert und abgeklärt, speziell die Anforderung an die Sitzgeometrie, kombiniert mit der Anforderung, dass die Sandungsanlage vom Innenraum aus befüllt werden können muss, da diese beiden in Kombination einen Zielkonflikt im Wgt 1 und Wgt 2 verursachten, wenn man von einer konventionellen Sitzkonstruktion ausging. Vor allem über die Art und Weise, wie das Personal der DVG die Sandungsanlage warten, befüllen und inspizieren können soll, wurde diskutiert. Eine Zugänglichkeit aus dem Innenraum des Fahrzeuges, um den Sandbehälter zu befüllen, sowie eine Möglichkeit, das aktuelle Sandvolumen über ein Schauglas abzulesen, sind zwingend erforderlich. Dies war das Ergebnis dieser Diskussionen. Ist dazu das Öffnen von Klappen oder das Betätigen von Mechanismen notwendig, müssen diese vor Fahrgästen und unsachgemäßer Betätigung geschützt sein. Weiters dürfen dafür keine anderen Werkzeuge als ein Vierkantschlüssel, welcher vom Personal mitgeführt wird, notwendig sein. Sämtliche beweglichen Teile müssen rüttelsicher und geräuscharm sein. Den Fahrgästen darf kein qualitätsmindernder Eindruck vermittelt werden.

Bei der Untersuchung der Topologie des Fahrzeuginnenraumes konnte ein weiterer Konflikt festgestellt werden. Die Montage / Demontage des Polsterträgers durch Ausschieben nach vorne wäre nicht an allen verbauten Sitzplätzen möglich. Es käme, wie in Abbildung 17 und Abbildung 18 dargestellt, bei der Montage der Abdeckkappen an den Sitzenden zu einer Kollision mit den Innenverkleidungen. Auch hier mussten die Anforderungen und Zuständigkeiten vorab genau geklärt werden. Es stellte sich die Frage, in welcher Baugruppe Anpassungen durchgeführt werden sollen, um mit

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

möglichst geringem Aufwand eine Lösung zu finden. Da, wie bereits in Abschnitt 1.4 beschrieben, das Fahrzeug Duisburg auf dem Fahrzeug Essen basiert und Innenverkleidungen und dahinter verbaute Komponenten wie Lüftungskanäle, Kabelführungen, Rohbau usw. wenn möglich aus diesem Fahrzeug übernommen werden sollen, würden Änderungen an diesen Teilen große Aufwände mit sich ziehen. Daher fiel die Entscheidung dahingehend, die Sitzgruppe dementsprechend zu konzipieren, dass eine Montage / Demontage des Polsterträgers möglich wird, da es sich bei dieser Baugruppe ohnehin um eine Neuentwicklung handelt.

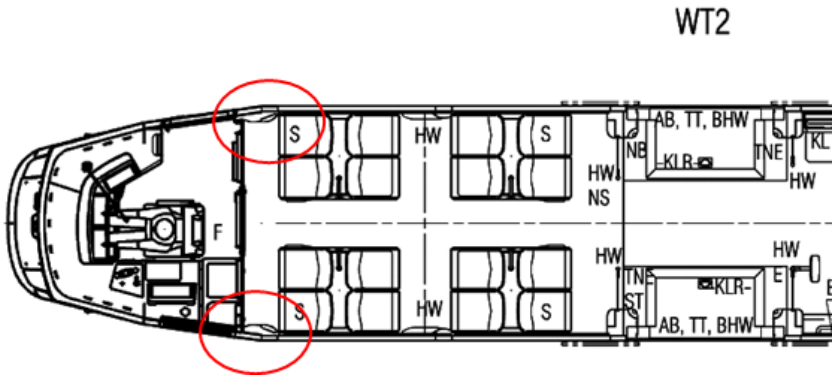


Abbildung 16: Topologisch kritische Bereiche Wgt 1 & Wgt 2

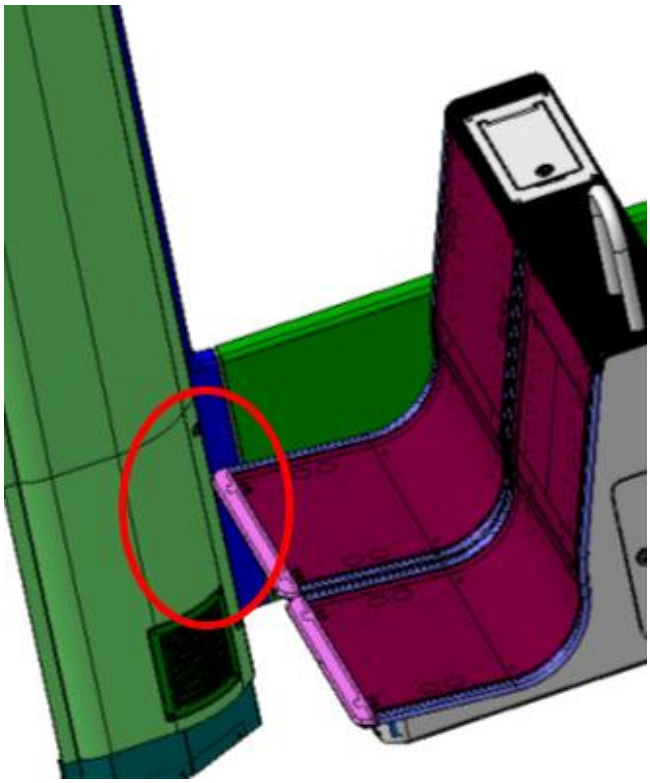


Abbildung 17: Beinahe-Kollision Ansicht 1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

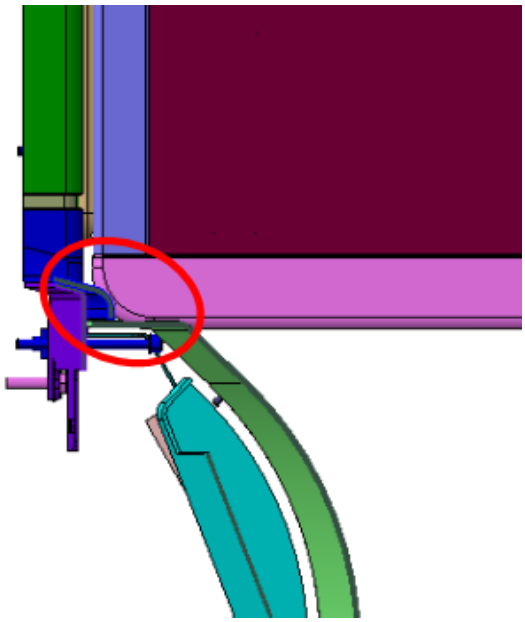


Abbildung 18: Beinahe-Kollision Draufsicht

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.1.2 Neuheitsgrad

In Bezug auf die Aufgabenstellung und die Anforderungen kann die Konstruktion wie folgt nach ihrem Neuheitsgrad beurteilt werden:

Anfänglich handelte es sich um die Entwicklung eines Plattformproduktes. Viele Komponenten wie Sitzschale, Polsterträger und Befestigungsmechanismus für Abschlusskappen waren bereits bekannt. Diese Komponenten sollten möglichst unverändert bleiben und die bekannten Systeme wiederverwendet werden. Mittels eines Rahmens und Verkleidungselementen sollte die Konstruktion einer 4-er Sitzgruppen auf Radkästen realisiert werden. Konzepte zur Umsetzung existierten bereits mehrfach aus Altprojekten. Diese Rahmen- und Verkleidungskonzepte müssten an die Eigenschaften des BT–Sitzes angepasst, jedoch nicht neu entwickelt werden.

Nach Analyse der Anforderungen musste jedoch festgestellt werden, dass die Erfüllung dieser mit den aktuell vorhandenen Konzepten aus Altprojekten für den Wgt 1 nicht möglich ist. Anforderungen wie die Zugänglichkeit zur Sandungsanlage, welche unter den Sitzgruppen verbaut ist, sowie die topologischen Randbedingungen in Kombination mit der geforderten Sitzgeometrie fordern neue Konzepte und Entwicklungen. Ein Konzept, welches die Herausforderungen im Projekt erfüllt, ist zum Zeitpunkt der Anforderungsanalyse noch nicht bekannt. Daher müssen für den Wgt 1 neue Lösungen gefunden, analysiert und ausgearbeitet werden. Das entstehende Produkt ist somit ein Neuprodukt mit einem hohen Neuheitsgrad für BT sowie für die DVG und den Markt.

Da es sich bei der Sitzgruppe im Wgt 1 um ein neues Produkt handelt, beziehen sich die folgenden Abschnitte 3.1.3 bis 3.2.1 ausschließlich auf die Konzepte für dieses Produkt. Die Entwürfe für die Sitzgruppen im Wgt 3 sollen möglichst viele Gleichteile des Entwurfes für den Wgt 1 enthalten und für die Fahrgäste ein homogenes Fahrzeugbild darbieten. Dies ist bereits bei der Entwurfsphase für die Sitzgruppe im Wgt 1 zu berücksichtigen, daher wurde auf eine detaillierte Konzeptphase für den Wgt 3 verzichtet.

3.1.3 Abstrahieren der Aufgabe und Funktionsstruktur

Da sich nach dem Erstellen der Anforderungsliste noch keine eindeutig optimale Lösung aufdrängte, jedoch bereits unterschiedlichste Ideen von verschiedensten Stellen aufgezeigt wurden, wurde beschlossen, eine lösungsneutrale Formulierung der Aufgabenstellung bzw. Problemstellung aufzustellen. Diese von Lösungsansätzen freie Formulierung lautet:

Sitzender Transport von Fahrgästen auf BT-Sitzen über Sandungsanlagen, welcher eine Befüllung und Wartung dieser in einem praktikablen Maß zulässt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Nach dem Formulieren der Aufgabenstellung kann eine Gesamtfunktion abgeleitet werden. Diese lautet sehr vereinfacht und lösungsneutral:

Sitzender Transport von Fahrgästen über Sandungsanlagen.

Die Gesamtfunktion, wie in Abbildung 19 dargestellt, zeigt den Zusammenhang zwischen Funktion, Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen. Von der Sandungsanlage unter der Sitzgruppe soll der Füllstand als Signal an den Bediener weitergeleitet werden, damit dieser im Bedarfsfall den Behälter mit Sand wieder befüllen kann. Dies entspricht einem Stofftransport vom Innenraum in den Behälter, weiters müssen Ersatzteile, wie z.B. der Polsterträger und Kohlebürsten der Kompressormotoren leicht tauschbar sein. Die Lasten und Energien, welche durch Beschleunigungen und Verzögerungen von Fahrgästen auf die Sitze wirken, müssen auf den Rohbau übertragen werden und dürfen keine Schädigung am Produkt hervorrufen.

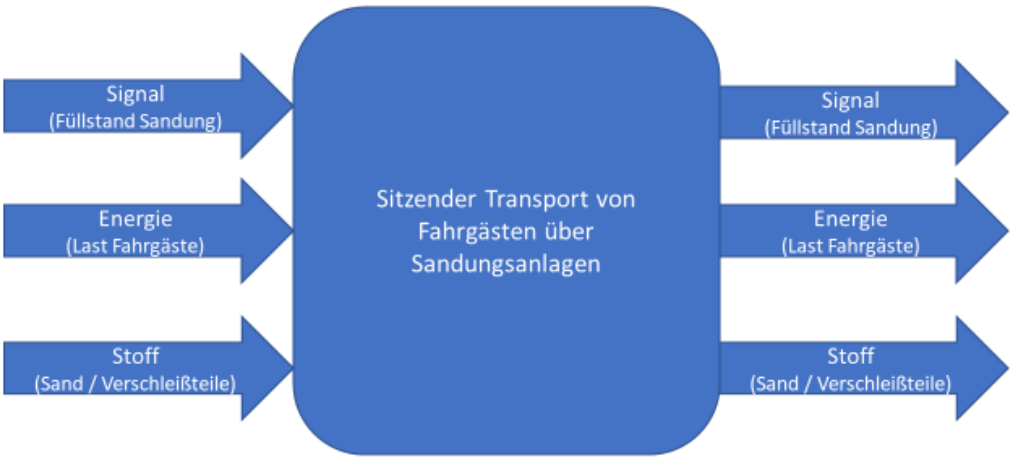


Abbildung 19: Gesamtfunktion Sitzgruppe

Wie genau diese Signal-, Stoff- und Energieflüsse aussehen, ist in der Gesamtfunktion nicht abgebildet, dazu ist ein Aufgliedern in Teilfunktionen wie in Abbildung 20 notwendig. Hier wurde zwischen Funktionen, welche nur den Sitz (grün hinterlegter Bereich) und Funktionen, welche auch die Sandungsanlage betreffen (rot hinterlegter Bereich) unterschieden. Diese beiden vereint stellen die Gesamtfunktion der Sitzgruppe dar. Die Formulierung der Teilfunktionen ist nach wie vor meist sehr abstrakt und vereinfacht gewählt, um weiterhin lösungsneutral zu bleiben. Ebenso sind nur die wichtigsten Teilfunktionen angeführt, um die Übersichtlichkeit zu bewahren und den Aufwand in dieser frühen Phase der Produktentwicklung möglichst gering zu halten. Die in Abbildung 20 verwendeten Teilfunktionen sind:

- Übertragen:
  Die Lasten und Energien, welche beim Transport von Fahrgästen auftreten,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

müssen von den Sitzen in den Rohbau des Fahrzeuges übertragen werden, ohne die Materialien mechanisch zu überlasten.

- Demontage Abschlusskappe:
  Um den Polsterträger laut dem Konzept des BT-Sitzes wechseln zu können, muss eine der beiden Abschlusskappen demontiert werden.

- Ausschub Polsterträger:
  Der Polsterträger muss aus der Sitzschale ausgeschoben werden können.

- Einschub Polsterträger:
  Ein neuer oder gereinigter Polsterträger muss in die Sitzschale eingeschoben werden können.

- Montage Abschlusskappe:
  Nach dem Tausch des Polsterträgers muss die zuvor demontierte Abschlusskappe wieder montiert werden.

- Abdeckung Sandungsbehälter öffnen:
  Die unter den Sitzen für den Fahrgast nicht sichtbare Sandungsanlage muss durch Öffnen einer „Abdeckung“ für Bedienpersonal wieder auffüllbar sein.

- Weiterleiten (Sand):
  Der Sand, welcher zum Auffüllen verwendet wird, muss entweder direkt in den Sandbehälter gefüllt oder in diesen geleitet werden, um eine Verschmutzung des Fahrgastraumes zu verhindern.

- Abdeckung Sandungsbehälter schließen:
  Um die Sandungsanlage bzw. den Sandbehälter wieder vor den Fahrgästen zu verbergen, muss die zuvor geöffnete Abdeckung wieder verschlossen werden.

- Weiterleiten (Füllstand):
  Falls der an der Sandungsanlage verbaute Füllstandsensor eine Störung aufweist und auch vor der Inbetriebnahme des Fahrzeuges, muss es dem Personal möglich sein, den Füllstand trotz der für die Fahrgäste verborgenen Sandungsanlage abzulesen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

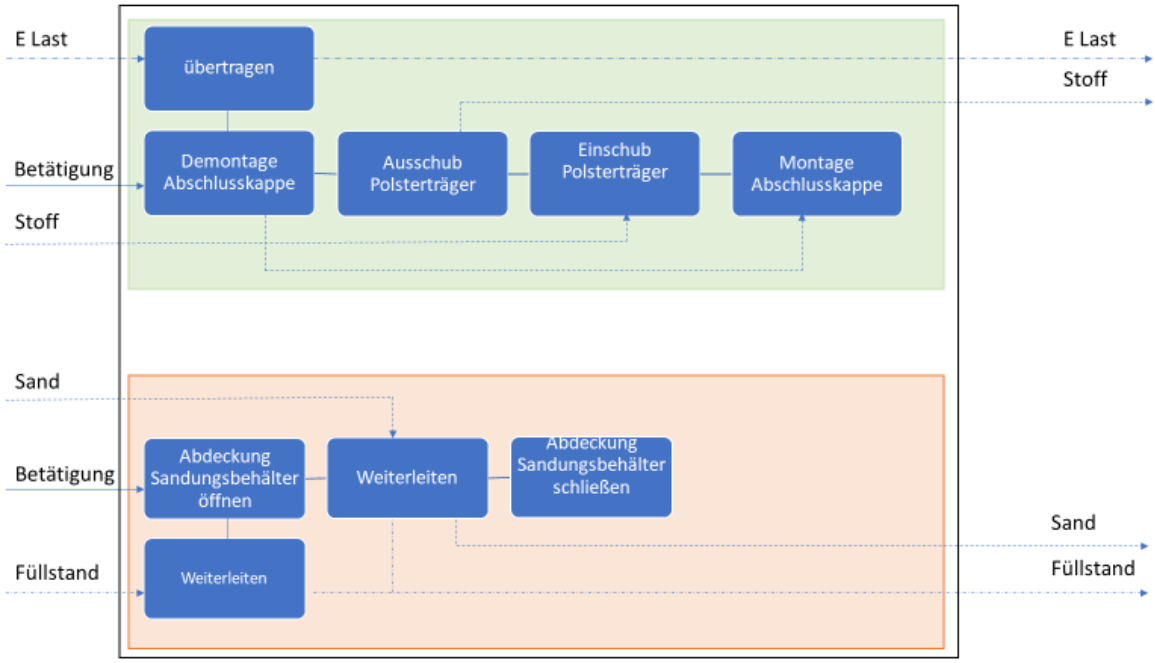


Abbildung 20: Funktionsstruktur Sitzgruppe

3.2 Lösungskonzepte

Um Lösungen für die zuvor in 3.1.3 definierten Teilfunktionen zu finden und diese auch übersichtlich darzustellen, wurde ein Ordnungsschema verwendet. Die Teilfunktionen wurden teilweise zusammengefasst. Zum Beispiel sollen Demontage und Montage der Abschlusskappen analog geschehen und sind daher als eine einzelne Position im Ordnungsschema zu finden. Weiters wurden zusätzliche Funktionen bzw. Eigenschaften aufgrund neuerer Erkenntnisse in das Schema mit aufgenommen. Eine *Relativbewegung* wird z.B. als Funktion ergänzt, mit der Lösungsoption *keine Relativbewegung*, da diese bereits Inhalt einiger Lösungen anderer Teilfunktionen ist. Wie und in welche Richtung diese Bewegung ausgeführt werden soll, ist jedoch noch unklar, darum erschien es als nützlich, dies in einer eigenen Funktion abzubilden. Um bei der späteren Entwurfsphase möglichst effizient voranzukommen, wurde beschlossen, die Bauweise und Materialauswahl ebenfalls in den morphologischen Kasten zu integrieren, um hier möglichst früh eine zielführende Richtung vorzugeben, sind diese beiden Parameter doch sehr ausschlaggebend für die spätere Konstruktion. Das Ordnungsschema inklusive aller Funktionen und Lösungsmöglichkeiten ist in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

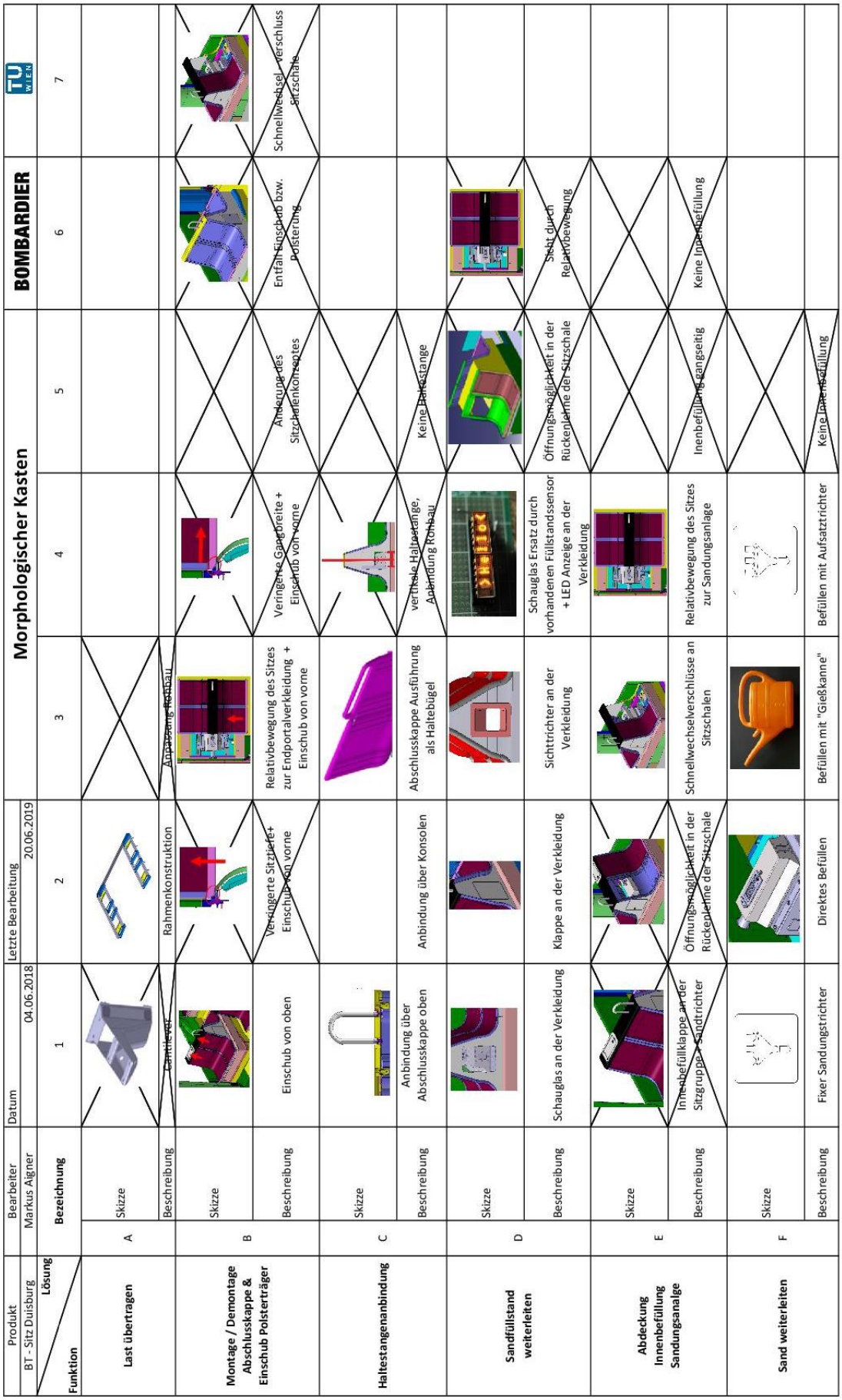


Tabelle 5: Ordnungsschema 1

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

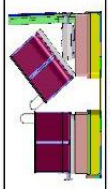
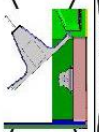
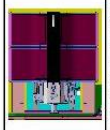
Produkt		Bearbeiter	Datum		Letzte Bearbeitung	Morphologischer Kasten				BOMBARDIER	TU WIEN
BT - Sitz Duisburg		Markus Aigner		04.06.2018	20.06.2019						
Funktion	Lösung	Bezeichnung	1	2	3	4	5	6	7		
Relativbewegung	G	Skizze									
		Beschreibung	Rotieren X-Achse	Rotieren Y-Achse	Rotieren Z-Achse	Verschieben Y-Achse	Verschieben Y-Achse	Verschieben Z-Achse	Keine Relativbewegung		
Verriegelung	H	Skizze									
		Beschreibung	Rastelement	Spannhebel	Klemmelement	Verschrauben	Keine Verriegelung				
Sichern Verriegelung	I	Skizze									
		Beschreibung	Schloss	hinter Wartungsklappe	Vorreiber	Sicherungsschraube	Verblombung	Keine Sicherung der Verriegelung			
Bauart der Unterkonstruktion	J	Skizze									
		Beschreibung	Schweißkonstruktion	Blechbiegekonstruktion							
Material Unterkonstruktion	K	Skizze									
		Beschreibung	Stahl	Rostfreier Edelstahl	Aluminium	Carbon	Holz				
Verkleidungsmaterial	M	Skizze									
		Beschreibung	GFK		Stahlblech	Aluminiumblech	Thermoformung				
Toleranzaufnahme Sitzschalen	N	Skizze									
		Beschreibung	Voluminöses Gummiprofil zwischen den Sitzschalen	Langlöcher + schmales Gummiprofil	Abdichten mit Dichtmasse	Ausreichend großer Spalt - kein Hohlraum unter den Sitzschalen					

Tabelle 6: Ordnungsschema 2

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Durch das Einfügen von Prinzipskizzen wurde versucht, das Ordnungsschema auch für fach- und themenfremde Personen möglichst verständlich und selbsterklärend zu gestalten. Weiters wurden sämtliche Lösungen, welche zu diesem Zeitpunkt und auf Grundlage der bisher vorhandenen Informationen als nicht zielführend empfunden wurden, durch Durchstreichen gekennzeichnet und in Tabelle 7 mit dem jeweiligen Ausschlussgrund vermerkt. Dies soll den späteren Aufwand bei der Konzeptfindung eingrenzen und ein effizientes Arbeiten gewährleisten.

Nr.	Bezeichnung	Grund
1A	Cantilever	Nicht passend zu dem Fahrzeugkonzept
3A	Anpassung Rohbau	Änderung der Rohbaustruktur nicht vorgesehen
2B	Verringerte Sitztiefe + Einschub von vorne	Sitzgeometrien sind Kundenvorgaben und einzuhalten
4B	Verringerte Gangbreite + Einschub von vorne	Kundenanforderung nach möglichst hoher Gangbreite ist einzuhalten
5B	Änderung des Sitzschalenkonzept	Sitzschalenkonzept inkl. Einschubnuten ist beizubehalten
6B	Entfall Einschub bzw. Polsterung	Eine abgepolsterte Abdeckung anstelle des Polsterträgers ist für dieses Projekt nicht vorgesehen
7B	Schnellwechselverschluss	Polsterträger muss ohne Demontage der Sitzschale möglich sein
4C	vertikale Haltestange + Anbindung Rohbau	Vertikale Haltestange nicht zu Design passend
5C	Keine Haltestange	Haltestange an Sitzgruppen im Designbooklet bereits vorgestellt
5D	Öffnungsmöglichkeit in der Rückenlehne der Sitzschale	Zugänglichkeit durch Entnahme Polsterträger + Öffnen der Rückenlehne zu aufwändig. Öffnung in gebogenen Ebenen Profil kritisch
6D	Sicht durch Relativbewegung	Ablesen des Füllstandes muss für Wartungspersonal schnellst möglich sein
1E	Innenbefüllklappe an der Sitzgruppe + Sandtrichter	Topologisch nicht möglich aufgrund der Sitzgeometrie
2E	Öffnungsmöglichkeit in der Rückenlehne der Sitzschale	Zugänglichkeit durch Entnahme Polsterträger + Öffnen der Rückenlehne zu aufwändig. Öffnung in gebogenen Ebenen Profil kritisch.
5E	Innenbefüllung gangseitig	Position der Sandungsanlage bereits fixiert durch Außenbefüllung und Rohbau
6E	Keine Innenbefüllung	Kundenanforderung nach einer Innenbefüllung ist einzuhalten
5F	Keine Innenbefüllung	Kundenanforderung nach einer Innenbefüllung ist einzuhalten
2G	Rotieren Y-Achse	Kollision mit Seitenwandverkleidung
3G	Rotieren Z-Achse	Kollision mit Sandungsanlage
4G	Verschieben X-Achse	Kollision mit Sandungsanlage

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6G	Verschieben Z-Achse	Zu hoher Kraftaufwand für eine Person bei geschätztem Gewicht
3H	Klemmhebel	Keine sichere Fixierung mit definierter Haltekraft
4H	Verschrauben	Verriegelung muss schnell lösbar sein extra Werkzeug nicht zulässig
1I	Schloss	Kein zusätzlicher Schlüssel zulässig Risiko des Klapperns
4I	Sicherungsschraube	Verriegelung muss schnell lösbar sein extra Werkzeug nicht zulässig
5I	Verplombung	Extra Werkzeug nicht zulässig
4K	Carbon	Unüblich für Strukturelemente im Schienenfahrzeugbau-Interieur
5K	Holz	Unüblich für Strukturelemente im Schienenfahrzeugbau-Interieur
1M	GFK	Problematisch bei Lieferantenauswahl
4M	Thermoforming	Probleme bei Altprojekten
3N	Abdichten mit Dichtmasse	Problematisch bei Wartung
4N	Ausreichend großer Spalt kein Hohlraum unter den Sitzschalen	Nicht passend zu dem Fahrzeugkonzept

Tabelle 7: Ausgeschlossene Lösungen des morphologischen Kastens

Da die Lösungen aufgrund der Übersichtlichkeit nur mittels Stichworten und Skizzen im Ordnungsschema vermerkt sind, scheint eine genauere Beschreibung sinnvoll. Daher wurden sämtliche nicht ausgeschlossenen Lösungen für die Teilfunktionen, welche auch für die Konzeptbildung herangezogen werden können, in Tabelle 8 kurz genauer erläutert.

Nr.	**Bezeichnung**	**Beschreibung**
2A	Rahmenkonstruktion	Die Sitzschalen der 4-er Sitzgruppen werden auf einem Rahmen befestigt, welcher die Kräfte und Lasten in den Rohbau einleitet.
1B	Einschub von oben	Der obere Abschluss der Sitzschalen (Abschlusskappen) wird so angepasst, dass eine Montage / Demontage der Polsterträger von oben möglich ist.
3B	Relativbewegung des Sitzes zur Endportalverkleidung + Einschub von vorne	Die Sitzschalen werden von der Endportalverkleidung wegbewegt, um eine Montage / Demontage von vorne mit den erprobten Abschlusskappen zu ermöglichen.
1C	Anbindung über Abschlusskappen oben	Die Abschlusskappen oben dienen als Anbindungspunkt für die Haltestangen. Diese Kappen müssen daher den eingeleiteten Lasten standhalten.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2C	Anbindung über Konsolen	Die Haltestangen oder Haltebügel werden an Konsolen befestigt, welche mit einer Dekorabdeckungen abgedeckt werden.
3C	Abschlusskappe Ausführung als Haltebügel	Die obere oder oberen Abschlusskappen werden so ausgeführt, dass sie eine Möglichkeit zum Anhalten bieten und damit den Anhaltebügel ersetzen.
1D	Schauglas an Verkleidung	An der Verkleidung der Sitzgruppen mit Sandung wird ein Schauglas angebracht, durch welches das Schauglas der Sandungsanlage eingesehen werden kann.
2D	Klappe an der Verkleidung	An der Verkleidung der Sitzgruppen mit Sandung wird eine Klappe angebracht, durch deren Öffnen das Schauglas der Sandungsanlage eingesehen werden kann.
3D	Sichttrichter an der Verkleidung	An der Verkleidung der 4-er Sitzgruppen mit Sandung wird eine trichterförmige Einmuldung vorgesehen, welche eine Öffnung für das Schauglas der Sandungsanlage aufweist.
4D	Schauglas Ersatz durch vorhandenen Füllstandsensor + LED Anzeige an der Verkleidung	Der bereits vorhandene Füllstandsensor der Sandungsanlage wird genutzt und mit einer LED Anzeige erweitert, welche and der Verkleidung der Sitzgruppen angebracht wird.
3E	Schnellwechselverschlüsse an Sitzschalen	Die Sitzschalen werden mittels Schnellwechselverschlüssen am Rahmen befestigt und durch ihre Demontage wird der Zugang zur Sandungsanlage, welcher für die Befüllung notwendig ist, gewährleistet.
4E	Relativbewegung des Sitzes zur Sandungsanlage	Durch Wegbewegen der Sitzgruppe von der Sandungsanlage wird der Zugang zur Sandungsanlage, welcher für die Befüllung notwendig ist, gewährleistet.
1F	Fixer Sandungstrichter	Ein fix auf der Sandung verbauter Trichter / Einfüllstutzen erleichtert das Befüllen aus ungünstigen Positionen.
2F	Direktes Befüllen	Aus günstigen Positionen kann der Sandungsbehälter direkt befüllt werden.
3F	Befüllen mit "Gießkanne"	Ein im Fahrzeug mitgeführtes Hilfsmittel, ähnlich einer Gießkanne, erleichtert das Befüllen aus ungünstigen Positionen.
4F	Befüllen mit Aufsatztrichter	Ein im Fahrzeug mitgeführtes Hilfsmittel, ähnlich einem Trichter, erleichtert das Befüllen aus ungünstigen Positionen.
1G	Rotieren X-Achse	Die betroffenen Sitzgruppen werden mit einer Drehung um die Fahrzeug X-Achse (Längsrichtung) bewegt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5G	Verschieben Y-Achse	Die betroffenen Sitzgruppen werden mit einer Translation in der Fahrzeug Y-Achse (auch Längsrichtung) bewegt.
6G	Keine Relativbewegung	Die Sitzgruppen werden fix verbaut und so ausgeführt, dass keine Verschiebung notwendig ist.
1H	Rastelement	Selbsteinrastende Elemente wie Bolzen oder Riegel werden zur Verriegelung von beweglichen Teilen verwendet.
2H	Spannhebel	Spannhebel werden zur Verriegelung von beweglichen Teilen verwendet.
4H	Keine Verriegelung	Keine beweglichen Teile, welche verriegelt werden müssen
2I	Hinter Wartungsklappe	Verriegelung wird hinter verschließbarer Wartungsklappe angebracht und daher vor unsachgemäßer Betätigung geschützt.
3I	Vorreiber	Verriegelung wird mittels Vorreiber gesichert und daher vor unsachgemäßer Betätigung geschützt.
1J	Schweißkonstruktion	Unterkonstruktion als Schweißkonstruktion aus simplen Blech- und Rohrkomponenten gefertigt.
2J	Blechbiegekonstruktion	Unterkonstruktion aus Blechbiegeteilen gefertigt, welche geschraubt oder genietet werden, um Schweißnähte zu vermeiden.
1K	Stahl	Unterkonstruktion aus unlegiertem Stahl
2K	Rostfreier Edelstahl	Unterkonstruktion aus rostfreiem Edelstahl
3K	Aluminium	Unterkonstruktion aus Aluminiumlegierung
2M	Stahlblech	Verkleidungskomponenten aus unlegiertem Stahlblech
3M	Aluminiumblech	Verkleidungskomponenten aus Aluminiumblech
1N	Voluminöses Gummiprofil zwischen den Sitzschalen	Die Toleranzen der Sitzschalen und der Unterkonstruktion werden durch ein voluminöses Gummiprofil zwischen den Sitzschalen aufgenommen.
2N	Langlöcher + schmales Gummiprofil	Die Toleranzen der Sitzschalen und der Unterkonstruktion werden durch Langlöcher ausgeglichen, der Spalt zwischen den Sitzschalen wird durch ein schmales Gummiprofil abgedichtet.

Tabelle 8: Weiterverfolgte Lösungen des morphologischen Kastens

Mit Hilfe des morphologischen Kastens wurden in der Konzeptphase diverse Konzepte ausgearbeitet. Diese unterscheiden sich oft nur in einzelnen Lösungsprinzipien, ihre grundlegenden Eigenschaften sind hingegen oft gleich. Um das weitere Vorgehen zu vereinfachen, wurden sämtliche Konzepte auf ihre Hauptprinzipien reduziert, somit gelang es, die Konzepte auf vier Hauptvarianten zu beschränken. Diese vier Varianten

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

sind in Tabelle 10 durch farbige Linien, welche die jeweilige Wirkstruktur kennzeichnen, dargestellt und werden wie folgt bezeichnet:

Bezeichnung	Nr.	Wirkstruktur nach Tabelle 10
Schnellwechselsitzschale + Einschub oben	1	1B, 3C, 3D, 1E, 3F, 3G, 3H, 3I, 1N
Verschiebbare Sitzgruppe + Einschub oben	2	1B, 2C, 3D, 2E, 2F, 2G, 1H, 2I, 2N
Verschiebbare Sitzgruppe	3	2B, 1C, 2D, 2E, 2F, 2G, 1H, 1I, 2N
Drehbare Sitzgruppe	4	2B, 1C, 2D, 2E, 2F, 1G, 1H, 1I, 2N

Tabelle 9: Konzeptvarianten

Sämtliche Lösungsprinzipen, welche bereits zuvor ausgeschlossen wurden oder für die es keine Alternative mehr gibt, sind in dieser Tabelle nicht mehr dargestellt.
Es fällt auf, dass durch diese vier Konzeptvarianten nicht alle Lösungsprinzipien, welche zuvor noch nicht ausgeschlossen wurden, verwendet werden. Diese nicht verwendeten Lösungsmöglichkeiten schienen zu diesem Zeitpunkt in Kombination mit anderen Prinzipien als nicht mehr vielversprechend für die Gesamtlösung und wurden somit nicht weiter behandelt. Diese Erkenntnisse wurden durch BT interne Abstimmungen mit den für das Projekt zuständigen Personen und Abteilungen aufgrund diverser Erfahrungen aus Altprojekten, Preisvergleichen und Kundenabstimmungen erlangt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

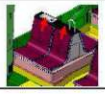
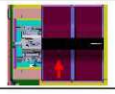
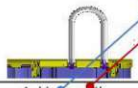
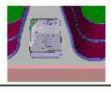
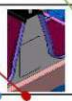
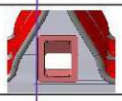
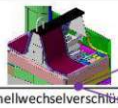
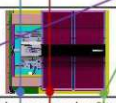
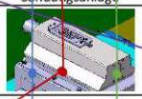
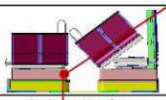
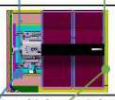
Funktion \ Lösung	Bez.		1	2	3	4
Montage / Demontage Abschlusskappe & Einschub Polsterträger	B	Skizze				
		Beschreibung	Einschub von oben	Relativbewegung des Sitzes zur Endportalverkleidung + Einschub von vorne		
Haltestangenanbindung	C	Skizze				
		Beschreibung	Anbindung über Abschlusskappe oben	Anbindung über Konsolen	Abschlusskappe Ausführung als Haltebügel	
Sandfüllstand weiterleiten	D	Skizze				
		Beschreibung	Schauglas an der Verkleidung	Klappe an der Verkleidung	Sichttrichter an der Verkleidung	Schauglas Ersatz durch vorhandenen Füllstandssensor + LED Anzeige an der Verkleidung
Abdeckung Innenbefüllung Sandungsanalge	E	Skizze				
		Beschreibung	Schnellwechselverschlüsse an Sitzschalen	Relativbewegung des Sitzes zur Sandungsanlage		
Sand weiterleiten	F	Skizze				
		Beschreibung	Fixer Sandungstrichter	Direktes Befüllen	Befüllen mit "Gießkanne"	Befüllen mit Aufsatztrichter
Relativbewegung	G	Skizze				
		Beschreibung	Rotieren X-Achse	Verschieben Y-Achse	Keine Relativbewegung	
Verriegelung	H	Skizze				
		Beschreibung	Rastelement	Spannhebel	Keine Verriegelung	
Sicherheit Verriegelung	I	Skizze				
		Beschreibung	hinter Wartungsklappe	Vorreiber	Keine Sicherung der Verriegelung	
Toleranzaufnahme Sitzschalen	N	Skizze				
		Beschreibung	Voluminöses Gummiprofil zwischen den Sitzschalen	Langlöcher + schmales Gummiprofil + geringer Überstand der Abschlusskappen		

Tabelle 10: Kombinationsschema Wirkstruktur

Schnellwechselsitzschale + Einschub oben

Grundaufbau:

- Vier Sitzschalen zu Sitzgruppe vereinigt
- Montage auf fixem Rahmen mittels Schnellwechselverschlüssen
- Abnehmbare Abschlusskappen oben
- Verkleidung aus Stahlblech
- Rahmen als Schweißkonstruktion
- Rahmenmaterial unlegierter Stahl

In diesem Konzept wird das topologische Problem im Wgt 1 & Wgt 2 dadurch gelöst, dass der obere Abschluss der Sitzschalen bzw. der Sitzgruppe abnehmbar gestaltet

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

wird. Somit wäre ein Austausch der Polsterträger auch an den kritischen Positionen von oben möglich. Ob diese Lösung der oberen Abschlusskappe an allen Sitzgruppen bzw. Sitzschalen im Wgt 1 & 2 umgesetzt wird oder nur an jenen am Endportal, ist vorerst noch nicht definiert und abhängig von der genauen Ausführung. Jedenfalls besteht die Möglichkeit, die Abschlusskappen oben so anzupassen, dass diese direkt den Anhaltebügel ersetzen.

Die Anforderung nach einer Sicht auf das Schauglas der Sandungsanlage soll mittels eines Sichttrichters realisiert werden, der direkt auf das Schauglas des Sandbehälters führt. Damit wären für das Einsehen des Füllstandes keine weiteren Werkzeuge oder Hilfsmittel notwendig. Ob der Lichteinfall durch den Trichter ausreichend ist oder ob hier eine zusätzliche Beleuchtung vorgesehen werden muss, ist noch unklar, eine Nachrüstmöglichkeit wäre jedenfalls vorzusehen.
Im Bedarfsfall können einzelne Sitzschalen rasch entnommen werden. Zur Ausführung dieser Schnellwechselverschlüsse gibt es diverse Ideen, welche teilweise auch in bereits abgeschlossenen Projekten bei anderen Sitzsystemen umgesetzt wurden. Ob diese auch analog für die BT Sitzschale umsetzbar sind, ist zum Zeitpunkt der Voruntersuchung noch ungewiss. Durch die Demontage einer oder mehrerer Sitzschalen wird ein begrenzter Zugang zur Sandungsanlage geschaffen, zur Befüllung ist daher mit großer Wahrscheinlichkeit auch ein Hilfsmittel ähnlich einer Gießkanne notwendig, um den Sand gezielt in den Behälter zu leiten.

Verschiebbare Sitzgruppe + Einschub oben

Grundaufbau:

- Vier Sitzschalen zu Sitzgruppe vereinigt
- Verschiebbarer Rahmen
- Abnehmbare Abschlusskappen oben
- Verkleidung aus Stahlblech
- Rahmen als Schweißkonstruktion
- Rahmenmaterial unlegierter Stahl

Um die Polsterträger an den problematischen Positionen im Wgt 1 & Wgt 2 zu wechseln, kann bei dieser Variante die obere Abschlusskappe durch Lösen von Schrauben entfernt und somit der Polsterträger entnommen und eingeschoben werden. Um diese Kappe schnell und effizient zu lösen, scheint es zweckdienlich, diese lediglich als Dekorabdeckung auszuführen und somit den Haltebügel sowie die Sitzschalen mittels Konsolen zu verbinden, um die auftretenden Kräfte aufzunehmen. Dies würde die Abschlusskappe oben, welche mit großer Wahrscheinlichkeit analog dem Referenzprojekt als Gussteil ausgeführt werden soll, bezüglich Volumen und Kosten optimieren. Es würden jedoch zusätzliche Bauteile erforderlich sein.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die Ablesemöglichkeit für den Füllstand ist analog der Variante 1 mittels eines Sichttrichters geplant, jedoch soll die Zugänglichkeit zur Sandungsanlage durch eine Translation in Y–Richtung signifikant verbessert werden. Durch ein Wegbewegen der gesamten Sitzgruppe wird nicht nur das Befüllen des Sandbehälters von innen erleichtert sondern auch die Zugänglichkeit zu Komponenten der Sandungsanlage wie Füllstandsensor oder Kompressormotor. Dies würde große Vorteile bezüglich des Wartungsaufwandes bringen. Hierzu ist natürlich ein Mechanismus notwendig, durch welchen das Verschieben und Fixieren in der Normalstellung gewährleistet werden kann. Die Grundidee ist, die Sitzgruppe auf Loslagern in Y–Richtung zu führen und mittels eines Rastelementes zu fixieren. Wie die Lagerung genau ausgeführt wird, steht zu diesem Zeitpunkt noch nicht fest, jedoch ist bereits klar, dass ein solcher Mechanismus vor unsachgemäßer Betätigung geschützt sein muss. Dies soll mittels eines zusätzlichen Vorreibers zur Sicherung gewährleistet werden.

Verschiebbare Sitzgruppe

Grundaufbau:

- Vier Sitzschalen zu Sitzgruppe vereinigt
- Verschiebbarer Rahmen
- Abnehmbare Abschlusskappen vorne
- Verkleidung aus Stahlblech
- Rahmen als Schweißkonstruktion
- Rahmenmaterial unlegierter Stahl

Die Grundidee dieses Konzeptes ist ähnlich zur Variante 2. Die Sitzgruppe soll hier ebenso mittels Loslager in Y–Richtung verschiebbar ausgeführt werden. Jedoch ist hier die obere Abschlusskappe als strukturelles Bauteil, welches fix mit den Sitzschalen verschraubt wird, vorgesehen. Dies soll die Anzahl der Bauteile minimieren und setzt auf das bewährte Konzept aus dem Referenzprojekt. Zum Ablesen der Füllstandsanzeige des Sandbehälters dient eine Klappe an der Verkleidung, welche nur durch Wartungspersonal geöffnet werden kann. Hinter dieser Klappe ist auch die Verriegelung des Verschiebemechanismus angebracht und somit vor unsachgemäßer Betätigung geschützt. Auch bei der Lösung mittels Klappe ist zu diesem Zeitpunkt noch unklar, ob ausreichend Restlicht zum Ablesen des Füllstandes vorhanden ist, daher ist ebenso wie beim Sichttrichter eine Nachrüstmöglichkeit vorzusehen.

Entgegen der zuvor beschriebenen Konzepte ist bei dieser Variante die vordere Abschlusskappe abnehmbar vorgesehen, dadurch ist in der nicht verschobenen Position der Sitzgruppe kein Austausch der Polsterträger an den kritischen Positionen im Wgt 1 & 2 möglich. Die Sitzgruppe müsste hierzu verschoben werden, um in einen Bereich zu gelangen, in welchem die Abschlusskappen demontiert werden können.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Drehbare Sitzgruppe

Grundaufbau:

- Vier Sitzschalen zu Sitzgruppe vereinigt
- Drehbarer Rahmen
- Abnehmbare Abschlusskappen vorne
- Verkleidung aus Stahlblech
- Rahmen als Schweißkonstruktion
- Rahmenmaterial unlegierter Stahl

Die Idee hinter diesem Konzept ist ähnlich der Variante 3: Durch eine Bewegung der Sitzgruppe soll eine Möglichkeit zum Austausch der Polsterträger über die Abschlusskappen vorne geschaffen sowie die Zugänglichkeit zur Befüllung der Sandungsanlage gewährleistet werden. Jedoch ist bei diesem Konzept eine Rotation an Stelle einer Translation vorgesehen. Die Rotationsachse muss aufgrund der topologischen Gegebenheiten in X–Richtung des Fahrzeuges und sehr nahe zum Abschluss mit dem Fußboden bzw. der Radkastenabdeckung liegen. Auch hier gibt es zum Zeitpunkt der Konzeptauswahl diverse Ideen, wie dieser Drehmechanismus ausgeführt werden könnte. Wegen des geschätzten Gewichtes der Vierersitzgruppe ist eventuell eine Unterstützung der Bewegung notwendig, damit diese durch eine Person mit üblichen Handkräften möglich ist. Ebenso muss auf die Sicherheit des Bedienpersonals beim Schließen und Öffnen höchstes Augenmerk gelegt werden. Eine Gasdruckfeder könnte hierfür die auftretenden Kräfte verringern. Die Betätigung der Verriegelung ist bei dieser Variante ebenso hinter einer Klappe angedacht, durch welche auch der Füllstand des Sandbehälters eingesehen werden kann.

3.2.1 Konzeptauswahl

Zur Auswahl der weiter zu verfolgenden Variante wurden folgende neun Kriterien definiert, nach denen die vier oben beschriebenen Konzepte nach ihrem Nutzwert bewertet werden. Wie in Tabelle 12 abgebildet, wurden diese Kriterien in wirtschaftliche und technische Kriterien unterteilt, somit gelingt auch eine Gegenüberstellung des wirtschaftlichen Nutzwertes zum technischen Nutzwert (in Abbildung 21 & Abbildung 22 dargestellt).

1. Gewicht: Um die Gesamtmassevorgabe und Achslastanforderungen einzuhalten, ist das zu erwartende Gewicht der Konstruktion ein wichtiges Kriterium.

2. Bauteilvielfalt: Um Ersatzteillagerkosten gering zu halten, soll die Anzahl an unterschiedlichen Teilen geringgehalten werden.

3. Einfachheit (technische Komplexität): Um eine robuste und günstige Konstruktion zu gewährleisten, soll die Lösung möglichst einfach ausgeführt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

sein.

4. Plattformtauglichkeit: Die erzielte Lösung soll neben dem Projekt Duisburg auch in zukünftigen Projekten bzw. anderen Fahrzeugtypen ohne großen Aufwand anwendbar sein und es sollen bereits vorhandene Lösungen aus Altprojekten weitestgehend übernommen werden.

5. Kundenzufriedenheit: Die Anforderungen der KundInnen, vor allem die Anforderung bezüglich der Möglichkeit zur Innenbefüllung der Sandungsanlage sollen weitestgehend berücksichtigt und mittels dieses Kriteriums bewertet werden.

6. Sicherheit: Die Sicherheit der Fahrgäste sowie die des Wartungs- und Reinigungspersonals während der Instandhaltung sind mit diesem Kriterium abgebildet.

7. Wartungsaufwand direkt: Der direkte Wartungsaufwand bezieht sich auf die Wartungstätigkeiten direkt an der Sitzgruppe, wie z.B. der Austausch der Polsterträger oder anderer Komponenten und die Wartung diverser Mechanismen.

8. Wartungsaufwand indirekt (Wartungsvertrag): Der indirekte Wartungsaufwand bezieht sich auf Komponenten und Systeme, deren Wartung von der Sitzgruppe abhängig ist. Hierbei handelt es sich vorrangig um die Sandungsanlage und deren Komponenten, welche unter der Sitzgruppe verbaut sind.

9. Kosten: Die zu erwartenden Bauteilkosten werden mit diesem Kriterium beurteilt.

Da in der Phase der Konzeptauswahl viele Eigenschaften der vier Varianten noch nicht vollkommen bekannt sind, erschien es zweckmäßig, sich statt der in Phal/Beitz empfohlenen, sehr feinen, 10 stufigen Werteskala auf die Werteskala der VDI 2225 zu beziehen. Diese ist in Tabelle 11 dargestellt und unterteilt sich in insgesamt fünf Stufen zwischen 0 und 4. Wird ein Kriterium einer Variante mit dem Wert 0 bewertet, wird diese Variante für die weiteren Schritte im Produktentwicklungsprozess ausgeschlossen, da kein zufriedenstellendes Ergebnis zu erwarten ist.
Um die Bedeutung gewisser Kriterien wie z.B. Sicherheit und Kundenzufriedenheit hervorzuheben, wurden die Kriterien mit einer BT intern abgestimmten Gewichtung versehen, um bei der Nutzwertanalyse dies extra hervorzuheben. Ebenso wurden die jeweiligen Bewertungen anhand von BT internen Abstimmungen diskutiert und erteilt. Da die Zuweisung der Gewichtung sowie die Wertzuweisung nicht vollkommen von subjektiven Beeinflussungen entkoppelt werden können, wurden sowohl der ungewichtete Nutzwert (Abbildung 21) als auch der gewichtete Nutzwert (Abbildung 22) erfasst und ausgewertet, um später Vergleiche ziehen zu können.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Wert	Bedeutung
4	Sehr gut (ideal)
3	Gut
2	Ausreichend
1	Gerade noch tragbar
0	Unbefriedigend (Ausschluss)

Tabelle 11: Wertskala für Nutzwertanalyse nach VDI 2225

Nutzwertanalyse	Variante	Schnellwechsel + Einschub o.	Schnellwechsel + Einschub o. gew.	Verschiebbar + Einschub o.	Verschiebbar + Einschub o. gew.	Verschiebbar	Verschiebbar gew.	Drehbar	Drehbar gew.
Kriterium	**Gewichtung**								
Gewicht	0,1	3	0,30	2	0,20	2	0,20	2	0,20
Bauteilvielfalt	0,05	3	0,15	1	0,05	2	0,10	1	0,05
Einfachheit (technische Komplexität)	0,1	2	0,20	1	0,10	2	0,20	1	0,10
Plattformtauglich	0,15	1	0,15	2	0,30	3	0,45	1	0,15
Kundenzufriedenheit	0,15	0	0,00	2	0,30	4	0,60	3	0,45
Sicherheit	0,2	3	0,60	2	0,40	2	0,40	1	0,20
Summe technisch	**Σt**	**12**	**1,40**	**10**	**1,35**	**15**	**1,95**	**9**	**1,15**
Wt	**= Σt / 24**	**0,50**	**0,47**	**0,42**	**0,45**	**0,63**	**0,65**	**0,38**	**0,38**
Wartungsaufwand direkt	0,05	2	0,10	2	0,10	3	0,15	2	0,10
Wartungsaufwand indirekt (Wartungsvertrag)	0,1	1	0,10	4	0,40	4	0,40	4	0,40
Kosten	0,1	2	0,20	2	0,20	2	0,20	1	0,10
Summe wirtschaftlich	**Σw**	**5**	**0,40**	**8**	**0,70**	**9**	**0,75**	**7**	**0,60**
Ww	**= Σw / 12**	**0,42**	**0,40**	**0,67**	**0,70**	**0,75**	**0,75**	**0,58**	**0,60**
Summe gesamt	**1**	**17**	**1,80**	**18**	**2,05**	**24**	**2,70**	**16**	**1,75**

Tabelle 12: Nutzwertanalyse der vier Varianten

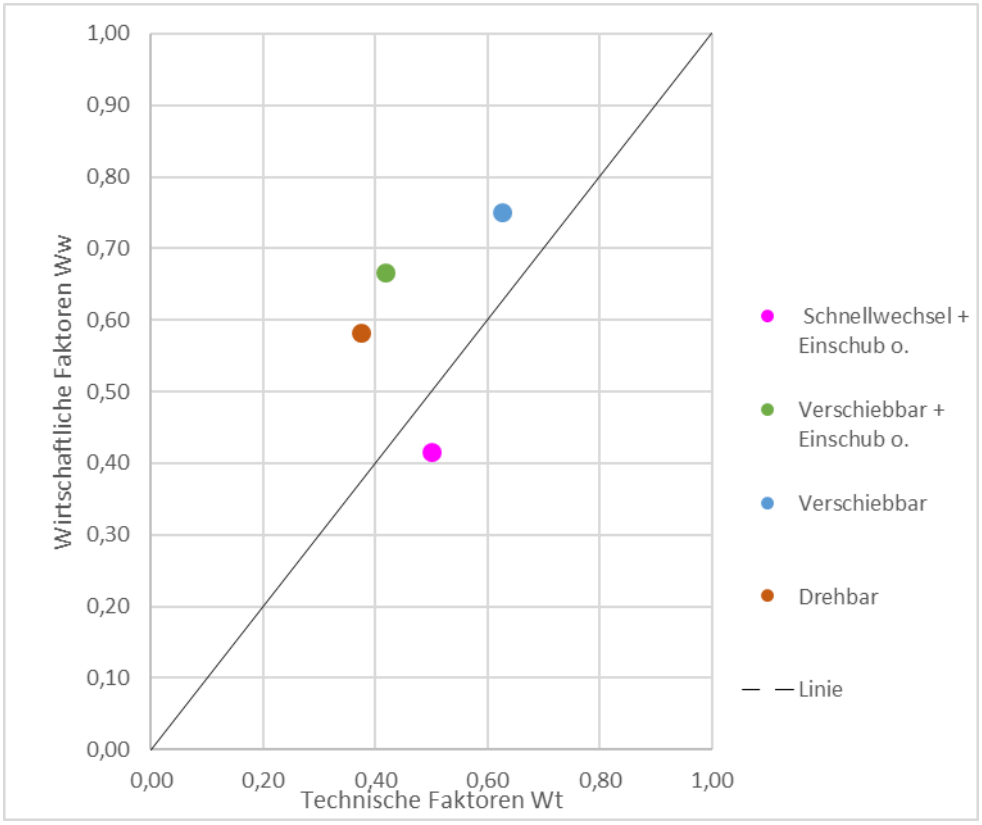


Abbildung 21: Wertigkeitsdiagramm ungewichtet

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

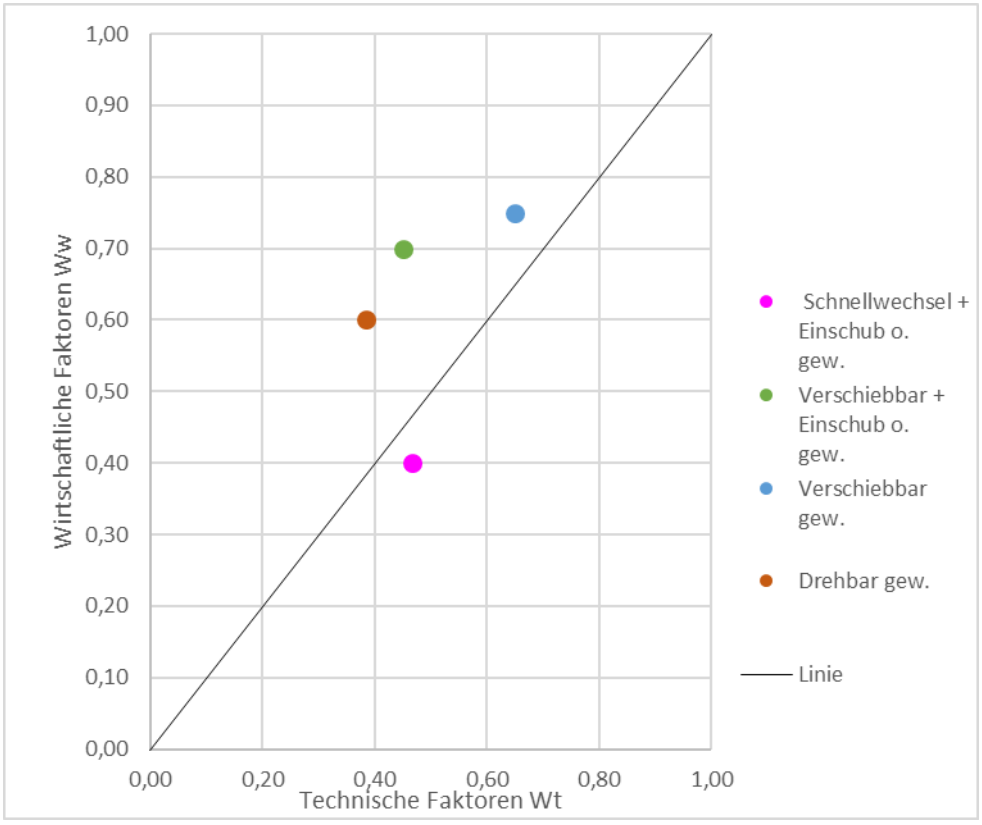


Abbildung 22: Wertigkeitsdiagramm gewichtet

Nach Durchführung der Nutzwertanalyse wurde die Variante 1, *Schnellwechselsitzschale + Einschub oben*, aufgrund der Bewertung mit dem Wert 0 für die weiteren Untersuchungen ausgeschlossen. Ein Aushängen der gesamten Sitzschale zur Befüllung erscheint als nicht praktikabel, weiters würde die Sitzgruppe voraussichtlich von bereits vorgestellten Designbildern stark abweichen. Um zwischen dem technischen und wirtschaftlichen Nutzwert unterscheiden zu können, wurden diese beiden Werte je einer Achse in den Diagrammen Abbildung 21 & Abbildung 22 zugewiesen. Als optimale Lösung müssten beide Werte Wt und Ww den Wert 1 erreichen, eine solche Lösung konnte leider nicht erreicht werden. Deshalb ist als beste Lösung jene Variante anzusehen, welche den geringsten Abstand zum Punkt (1/1) aufweist. In beiden Darstellungen, gewichtet und ungewichtet, stellt hier die Variante 3, *verschiebbare Sitzgruppe*, das beste Konzept dar und sollte damit bevorzugt für die weiteren Untersuchungen herangezogen werden. Dieses Konzept wurde auch so in einem vorgezogenen PDR vorgestellt, von den zuständigen Stellen bestätigt und somit konnte zum nächsten Arbeitsschritt des Entwerfens übergegangen werden. Weiters wurde aufgrund des Neuheitsgrades des Verschiebemechanismus beschlossen, diesen mittels eines Prototyps auf Machbarkeit und Funktion zu prüfen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.3 Entwerfen

Die Konzeptphase wurde mit einem teilweise abgeschlossenen PDR und dem Auftrag zum Entwerfen einer verschiebbaren Sitzgruppe für den Wgt 1 & 2 und zweier spiegelgleicher Sitzgruppen für den Wgt 3 beendet. Diese drei Sitzgruppen sollen sich optisch nur geringfügig unterscheiden, ebenfalls darf die verschiebbar ausgeführte Variante in keinem Fall Komfort- und Sicherheitseinbußen für den Fahrgast mit sich bringen. Da durch den notwendigen Mechanismus zur Verschiebung natürlich nicht kalkulierte Bauteilkosten entstehen, sollen diese weitestgehend durch Minimierung der Servicekosten egalisiert werden. Geringfügige Änderungen am Interface sowie Änderungen an der Sandungsanlage sind dazu zulässig.

Daher wurden Abstimmungen bezüglich der Möglichkeiten zur Anpassung der Sandungsanlage durchgeführt, welche ergaben, dass bei einem Verschiebeweg größer 380 mm in Y–Richtung und Integration der Sitzkästen in die Sitzgruppenverkleidung der Wartungsaufwand an der Sandungsanlage massiv reduziert werden kann. Dazu wird ebenso die Konfiguration der Komponenten an der Anlage selbst optimiert. Mit diesem Informationsstand wurden Gespräche mit VertreteInnen der Firmen Igus und IBC geführt, um einen Überblick über die Möglichkeiten ihrer Produkte zu erhalten, mit welchen der Verschiebemechanismus ausgeführt werden könnte. Ebenso wurden Ideen zu alternativen Ausführungen der Lagerung erarbeitet und diskutiert. Das Sammeln von Informationen und neuen Erkenntnissen ergab folgende Entwürfe:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

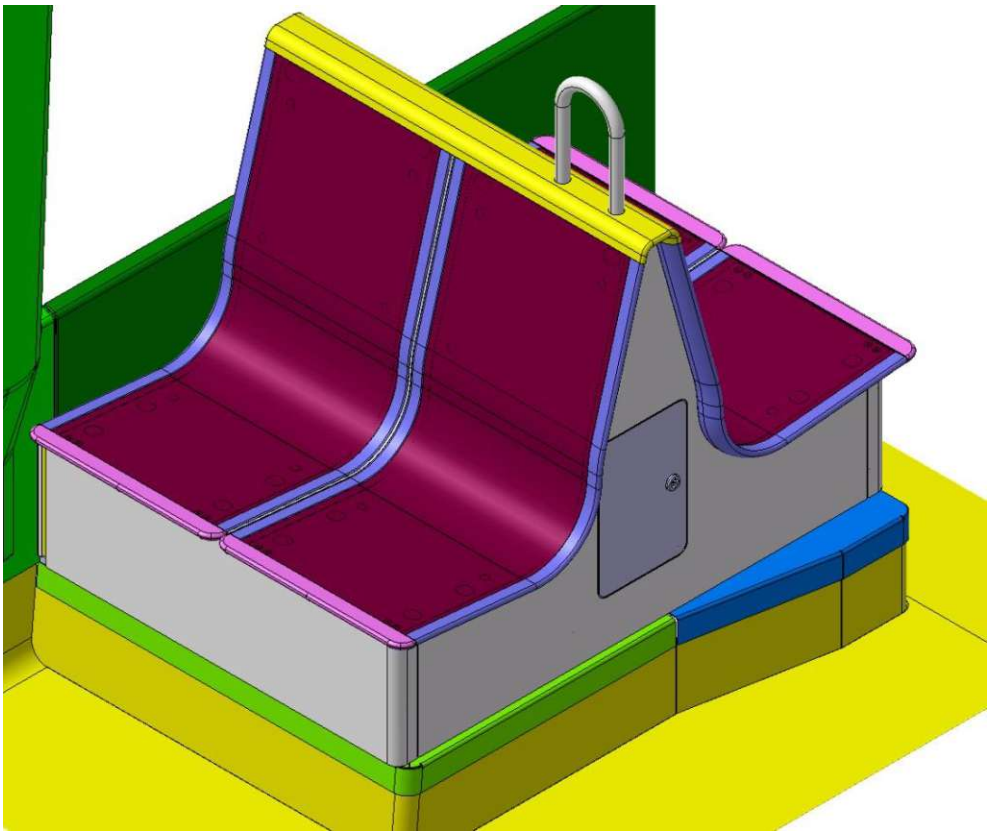


Abbildung 23: Sitzgruppe Wgt 1

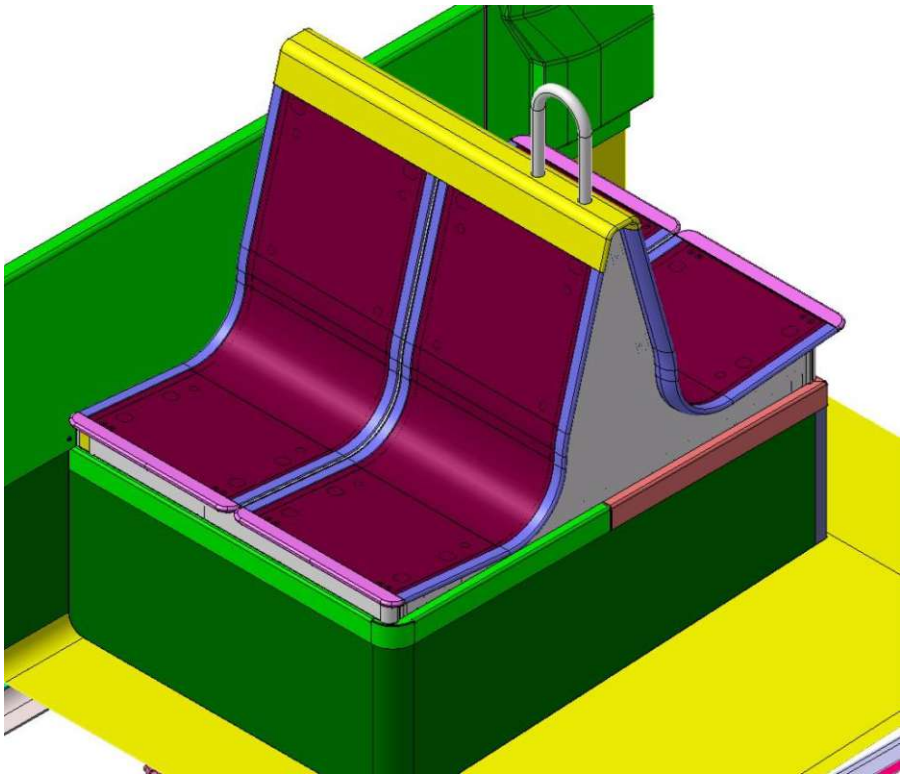


Abbildung 24: Sitzgruppe Wgt 3

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.3.1 Sitzschalen

Eine der Grundanforderungen dieser Arbeit war, das Konzept der Sitzschalen des BT–Sitzes wie in Kapitel 1.3 erläutert zu übernehmen und nur geringfügig anzupassen. Bei der Analyse der Anforderungen wurde erkenntlich, dass eine Sitzbreite von 420 mm für dieses Projekt den besten Kompromiss zwischen Komfort, Gangbreite und Design darstellt. Da für das Sitzschalenprofil zu diesem Zeitpunkt lediglich ein Strangpresswerkzeug für eine Profilbreite von 450 mm vorhanden war, muss ein neues Werkzeug mit der passenden Breite beauftragt werden. Daher sind auch geringfügige Änderungen am Profilquerschnitt möglich. Um die Fertigungs- und Montagetoleranzen der Verkleidungselemente und der Sitzschale selbst ohne Spalte aufnehmen zu können, wurde am Sitzschalenprofil eine Nut hinzugefügt, in welche die Verkleidungselemente hineinstehen. Somit werden Unterschiede in der Kontur von bis zu ± 0,75 mm durch diese Überlappung kaschiert. Weiters wurden die Anbindungen der Abschlusskappen oben von Senkkopfschrauben auf Zylinderschrauben mit Langlöchern umgestellt, um auch hier eine Verbesserung des Toleranzausgleiches zu schaffen.
Abschlusskappen vorne und Polsterträger wurden ebenso an die neue Geometrie der Sitzschale angepasst, Aufbau, Material und Technologie wie auch das Beschichtungssystem für die Sitzschale wurden aus dem Vorgängerprojekt übernommen. Dies führt zu Einsparungen bei Material und Brandschutztests, da neue, brennbare, noch nicht geprüfte Materialien jedenfalls nach der EN 45545 – 2 zu prüfen sind. Hierzu sind die Anwendungssätze R 21 für die Polsterträger, R 22 für die Abschlusskappe vorne, R 6 für die Sitzschale und R 18 für den Komplettsitz heranzuziehen und zu erfüllen [5]. Da nicht nur die Prüfung der einzelnen Komponenten nach dem jeweiligen Anwendungssatz sondern ebenfalls der Anforderungssatz R18 für den Komplettsitz zu wiederholen wäre, gilt es, dies zu vermeiden.

Die Sitzschale wurde so ausgeführt, dass Verkleidungselemente und Abdeckkappen an der Sitzschale mittels für die Fahrgäste, durch den Polsterträger verdeckten, nicht sichtbaren Verschraubungen montierbar sind. Zur Befestigung am Rahmen wurden Verschraubungen mit Toleranzausgleich in zwei Richtungen vorgesehen. Um die Bauteilvielfalt im Fahrzeug gering zu halten, wurden alle Sitzschalen, ausgenommen Klappsitze, im Fahrzeug gleich ausgeführt. Damit sind diese auch tauschbar.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

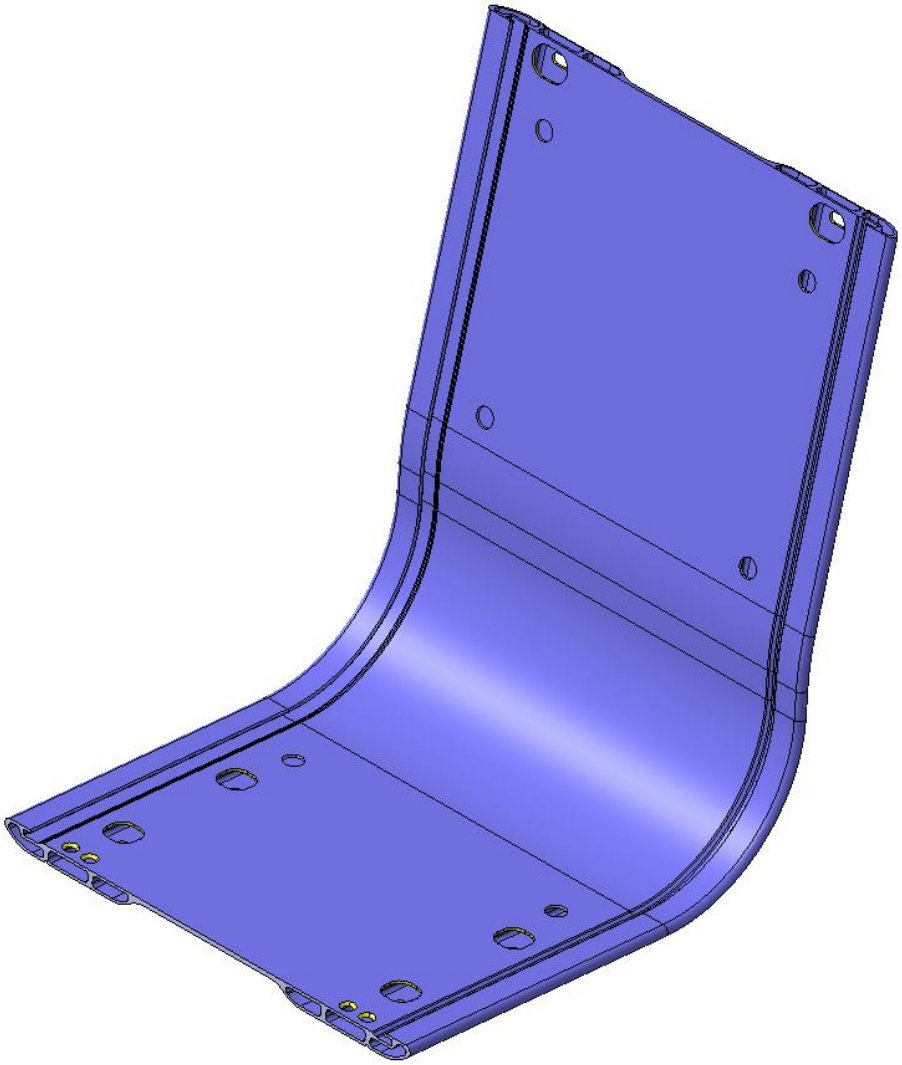


Abbildung 25: Sitzschale

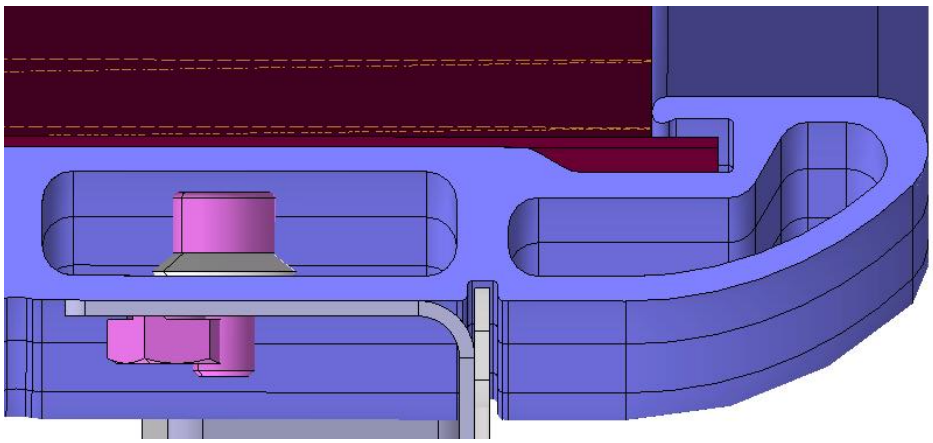


Abbildung 26: Sitzschale mit Nut für Verkleidung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.3.2 Abschlusskappen oben

Wie bereits in Kapitel 3.2.1 dargestellt, soll die Abschlusskappe als strukturelles Bauteil, welches die Lasten des Anhaltebügels in die Sitzschalen leitet, ausgeführt werden. Weiters bildet die Kappe den Abschluss der Sitzschalen und beeinflusst maßgeblich das Design der Sitzgruppen. Um den Konturen der Sitzschalen zu folgen sowie den Design- und Festigkeitsansprüchen gerecht zu werden, wurde die Abschlusskappe als Kokillengussteil aus Aluminium ausgeführt. Durch eine dementsprechende Verrippung zwischen den Anschraubdomen des Haltebügels zu den Anschraubflächen im nichtsichtbaren Bereich soll dem Bauteil eine ausreichende Steifigkeit verliehen werden, um den Lasten standzuhalten. Um die Enden des Polsterträgers abzudecken und Längentoleranzen aufzunehmen, ist eine Nut mit 7 mm Tiefe vorgesehen.

Da eine praktikable Sitzhöhe zwischen 450 und 500 mm zu erreichen ist, sind für das Fahrzeug aufgrund der variierenden Fußbodenhöhe insgesamt drei unterschiedliche, jedoch ähnliche Abschlusskappen notwendig. Um die anfallenden Werkzeugkosten zu minimieren und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der Gussteile durch Stückzahlsteigerung zu erhöhen, wurden sämtliche Abschlusskappen aus einem Gussrohteil entworfen. Durch mechanische Bearbeitung werden aus diesem Rohteil die drei Varianten gefertigt. Abstimmungen mit einem bereits bestehenden Partnerbetrieb von BT für Aluminiumgussteile sowie ein Richtpreisangebot bestätigten die technische Machbarkeit sowie die kommerziellen Vorteile dieser Herangehensweise.

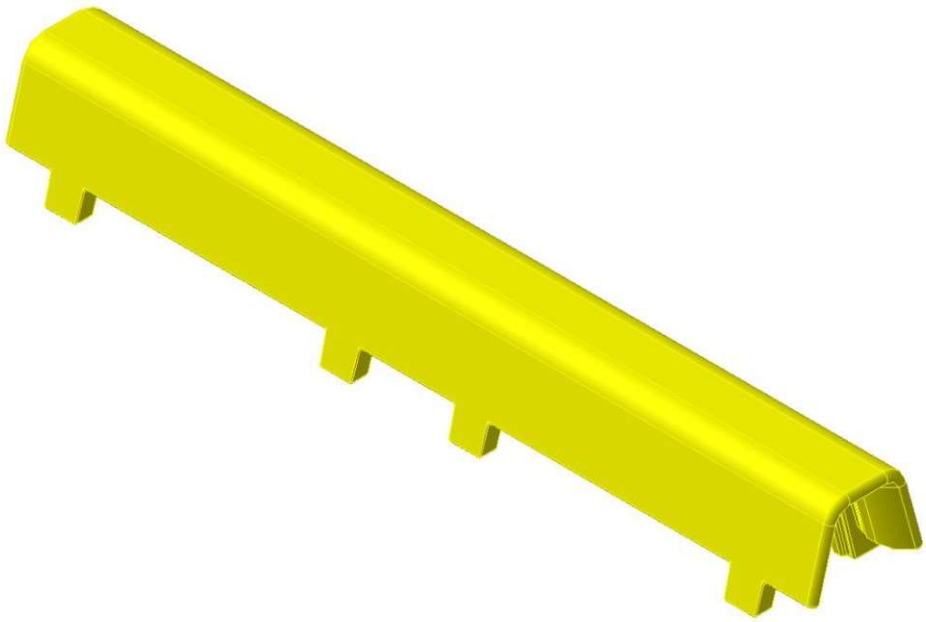


Abbildung 27: Abschlusskappe roh

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

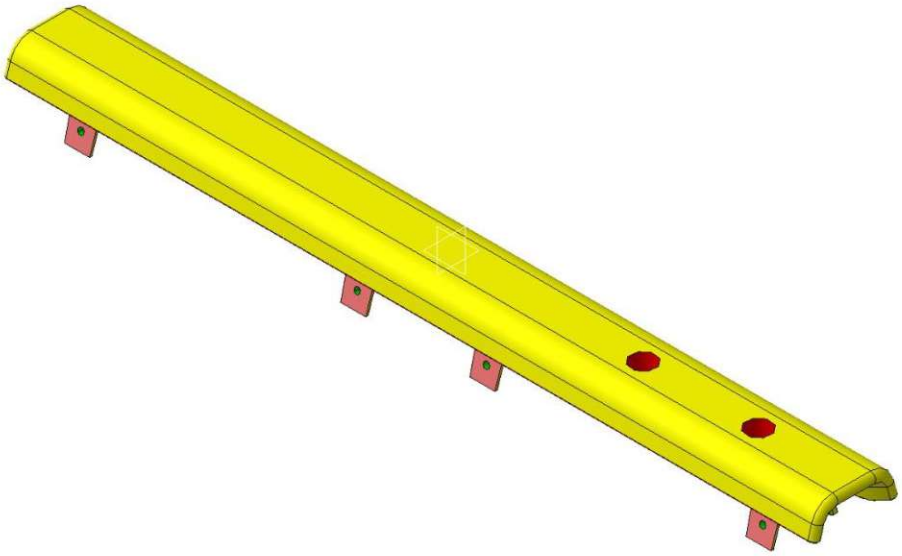


Abbildung 28: Abschlusskappe Wgt 1

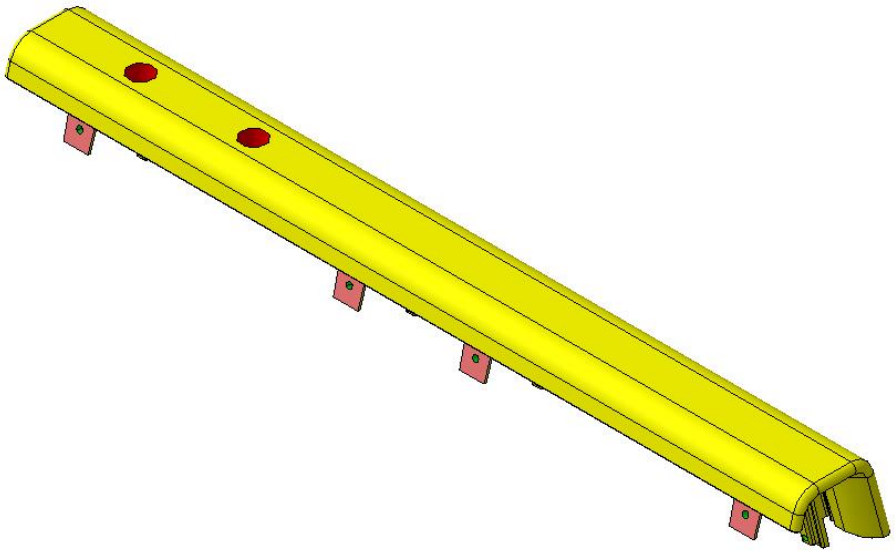


Abbildung 29: Abschlusskappe Wgt 3

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

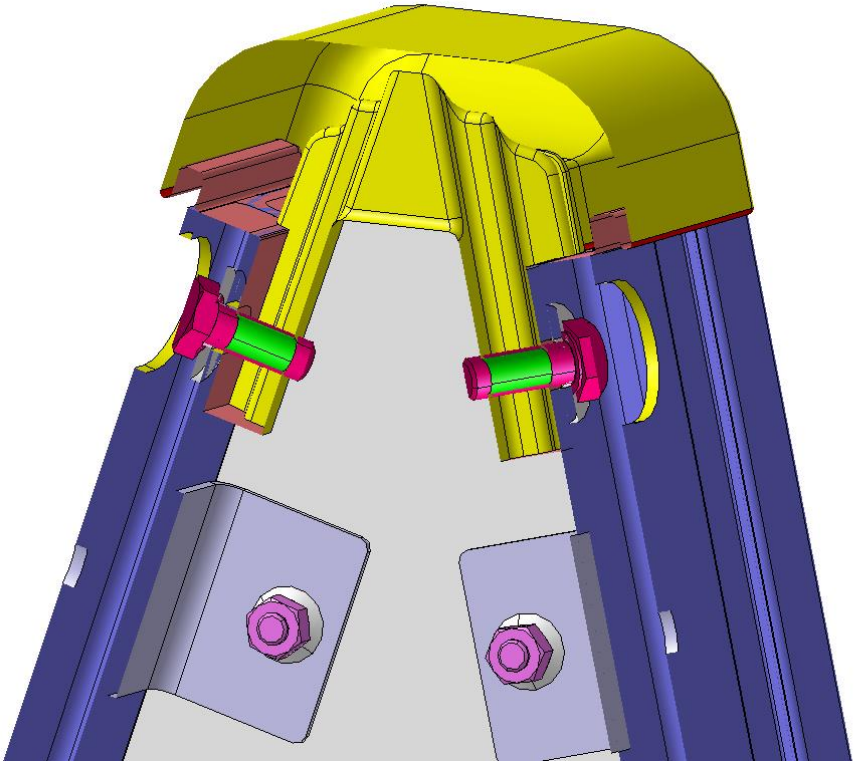


Abbildung 30: Abschlusskappe Wgt 1 verbaut Schnittansicht

3.3.3 Rahmen

Der Rahmen ist integraler Bauteil der Sitzgruppen, er dient als Befestigung für Sitzschalen und Verkleidungselemente und überträgt die Lasten zum Rohbau. Im Wgt 1 beinhaltet der Rahmen ebenfalls den Verschiebemechanismus. Daher ist er auch jene Komponente, in welcher sich die größten Unterschiede zwischen den Sitzgruppenvarianten zeigen. Bei der Konstruktion galten als Hauptaugenmerke eine möglichst einfache Fertigung, um ein breites Lieferantenspektrum zur Auswahl zu haben, sowie eine möglichst günstige Komponente mit geringer Masse zu erhalten. Daher sollten die Rahmen aus simplen Blechbiegeteilen und Standardprofilen, welche verschweißt werden, entworfen werden. Da nach Absprache mit Kolleginnen und Kollegen aus dem Einkauf eine Konstruktion aus Schwarzstahl zu bevorzugen ist, stellte sich die Frage nach dem Oberflächenschutz. Die dazu möglichen Optionen müssen noch genauer eruiert werden. Eine Entscheidung über die Oberflächenbehandlung muss spätestens im Arbeitsschritt Ausarbeiten vor der Freigabe zur Fertigung erfolgen.

Rahmen Wgt 3:

Der Rahmen im Wgt 3 wurde aus Blechbiegeteilen aus unlegiertem Stahl entworfen. Zum Ausgleich der unterschiedlichen Sitzhöhen sind zwei spiegelgleiche Rahmen notwendig, da die Anschraubkonsolen der Sitzschalen unterschiedliche Höhen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

aufweisen. Um die Sitzschalen von oben ohne zusätzliches Werkzeug zum Gegenhalten der Muttern zu befestigen, wurden Anschweißmuttern vorgesehen. Zur Befestigung der Verkleidungselemente sind zusätzlich zu den notwendigen Klipsmuttern auch selbstklebende Klett- und Filzbänder angebracht, die ein Klappern vermeiden.

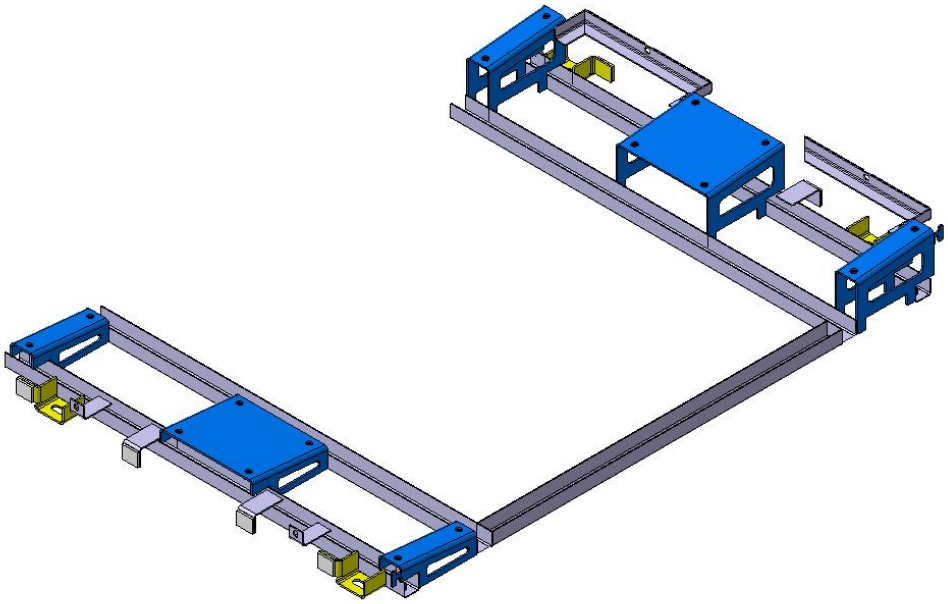


Abbildung 31: Rahmen Wgt 3 Iso Ansicht

Rahmen Wgt 1

Wie bereits erwähnt, ist der Verschiebemechanismus Bestandteil des Rahmens im Wgt 1. Daher galt es vor dem Entwerfen eine Entscheidung bezüglich dessen Ausführung zu treffen.

Aufgrund der Vorteile von Linearkugellagern, welche sich vor allem auf deren Robustheit, Wartungsintervalle, Montage, Spielfreiheit und Lasttragzahl beziehen, wurden diese für die Anwendung vorgesehen. Weiters sind diese Linearführungen bereits in unterschiedlichen Ausführungen bei diversen Anwendungen, z.B. Fahrlehrersitz, Scheinwerferträger, Türsysteme, usw. in Fahrzeugen von BT im Einsatz und keinerlei Probleme bekannt. Durch den Wartungsvertrag muss auch darauf geachtet werden, dass Komponenten im Schadens- oder Wartungsfall ersetzt werden können. Am Markt existieren diverse Anbieter für Linearkugellager, deren Produkte zum größten Teil substituierbar sind.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Durch die Auslegung nach Herstellerangaben (siehe Anhang) und Abklärung mit IBC konnte die Baureihe und Baugröße der Linearführungen festgelegt und mit der Konstruktion begonnen werden. Die Entwurfsphase ergab eine zweiteilige Rahmenlösung. Der Verschieberahmen, in Abbildung 34 dargestellt, wird am Interface verschraubt und beinhaltet die Linearführungen sowie die Einrastkonsole für den Rastbolzen. Um die Endanschläge der Linearführung zu schonen, wurden Anschlagspuffer vorgesehen, welche den theoretischen Hub von 399 mm nach Katalog [14] auf 395 mm begrenzen. Die Führungen wurden so angebracht, dass sie vor Verschmutzung zusätzlich geschützt und im Bedarfsfall möglichst leicht zu warten sind.
Der Tragrahmen, in Abbildung 33 dargestellt, beinhaltet die Anschraubkonsolen zur Befestigung der Sitzschalen sowie die Anschraubplatte für den Rastbolzen, welcher konisch ausgeführt wurde, um ein spielfreies Einrasten zu gewährleisten (Abbildung 35). Bei der Auswahl des Rastelementes wurde ebenso darauf geachtet, dass für die BedienerInnen klar ersichtlich ist, ob das Rastelement vollkommen eingerastet ist oder nicht. Sollte der Bolzen nicht vollständig im Gegenstück eingerastet sein, ist dies durch einen Luftspalt klar zu erkennen.

Sämtliche Schraubverbindungen sind mit Langlöchern in zwei Richtungen versehen, um Fertigungstoleranzen aufnehmen zu können und einem Klemmen des Verschieberahmens im zusammengebauten Zustand, zum Komplettrahmen (Abbildung 32), entgegenzuwirken.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

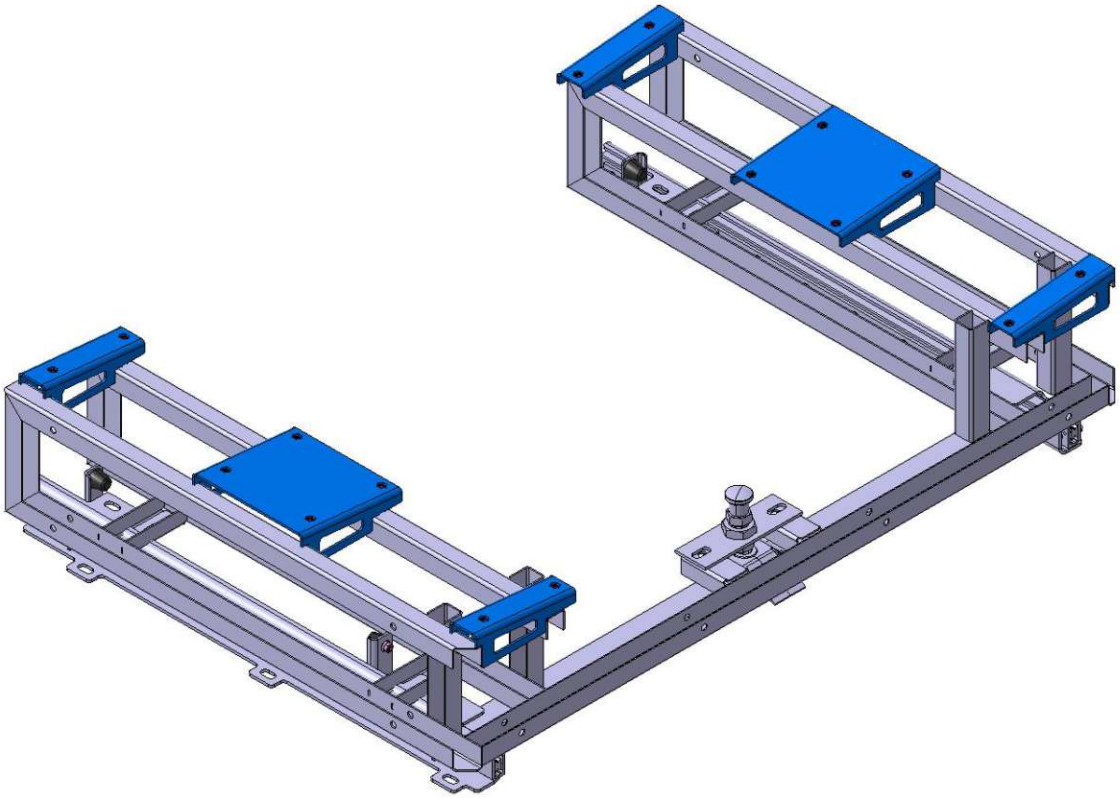


Abbildung 32: Rahmenkonstruktion Wgt 1

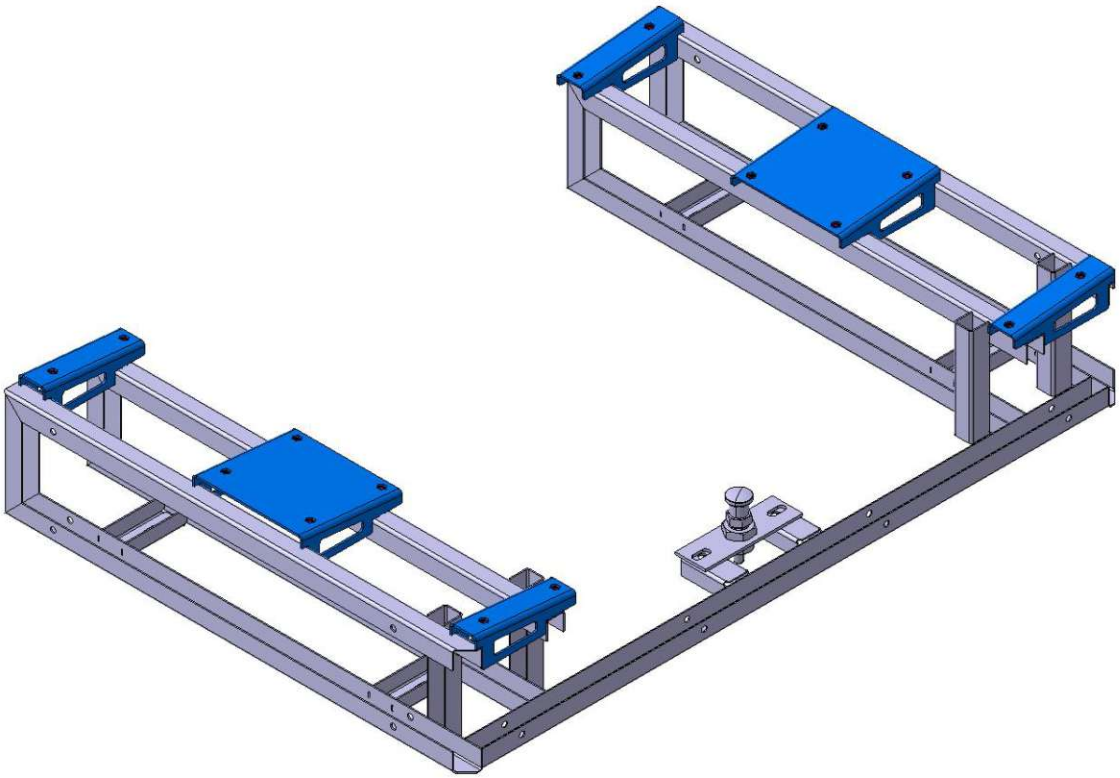


Abbildung 33: Tragrahmen Wgt 1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

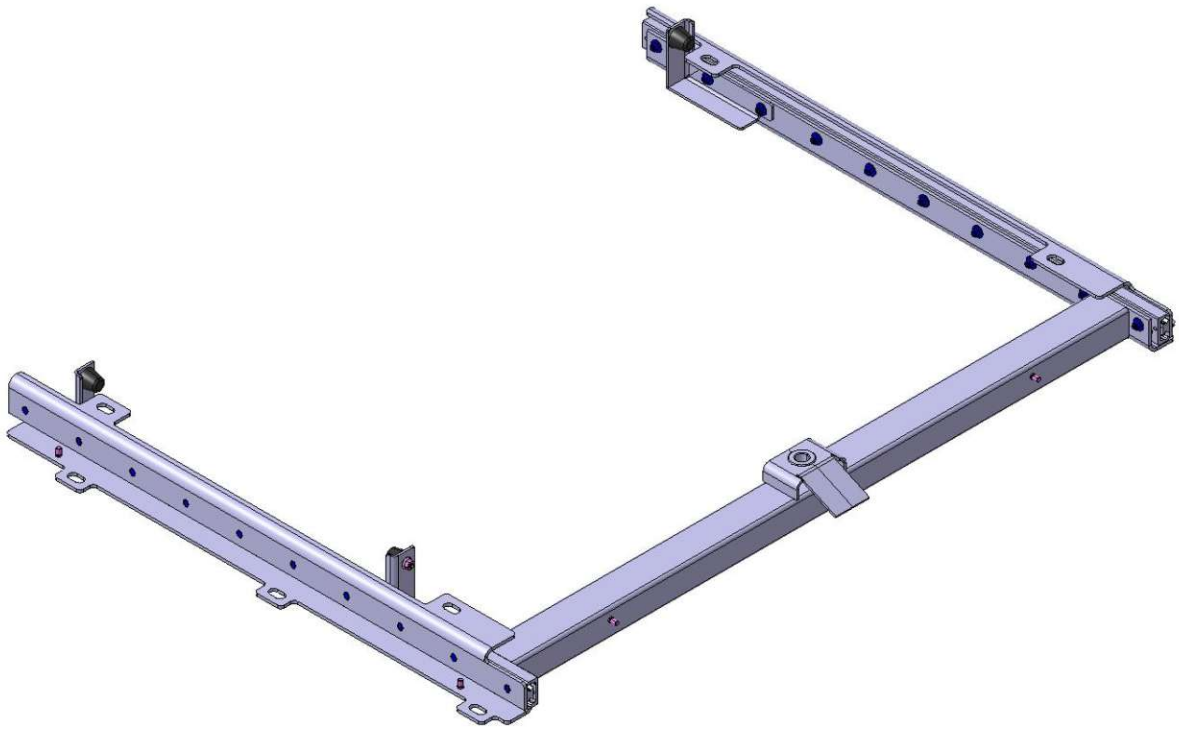


Abbildung 34: Verschieberahmen Wgt 1

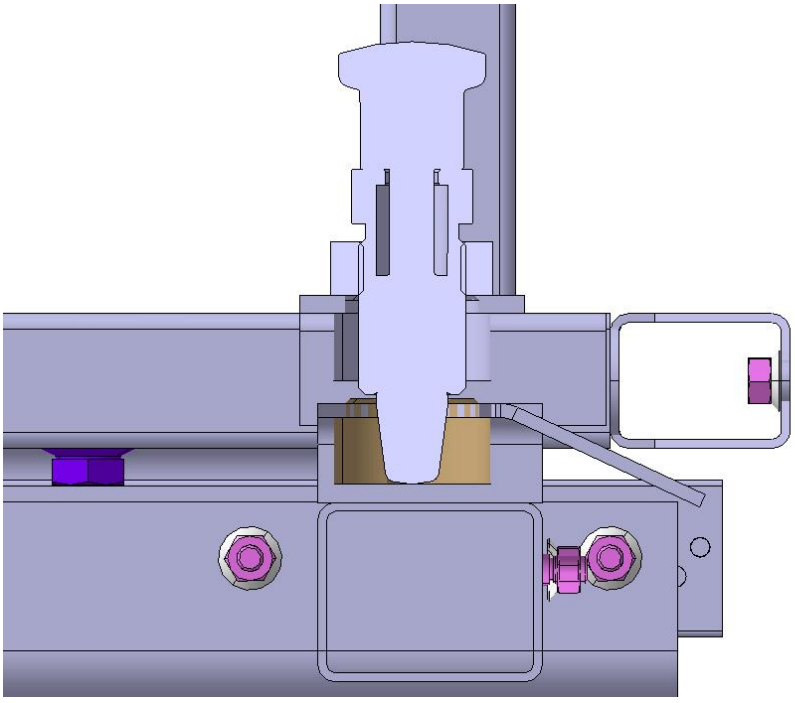


Abbildung 35: Verriegelung mittels konischen Rastbolzens

3.3.4 Verkleidung

Die Verkleidung der 4-er Sitzgruppen besteht im Wesentlichen aus fünf Unterbaugruppen: der vorderen und hinteren Verkleidung, dem Kragenblech, welches

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

den Abschluss zur Seitenwand bildet, der fensterseitigen Verkleidung und der gangseitigen Verkleidung. Da Sichtverschraubungen wenn möglich vermieden werden sollen, wurden zur Befestigung Anschweißbolzen, Federklammern und Klettbänder verwendet. Die vordere und hintere Verkleidung im Wgt 3 ist zusätzlich mittels zweier Sichtverschraubungen am Rahmen befestigt, da für die Montage der Sitzgruppe diese beiden Verkleidungselemente abgenommen werden müssen. Die Kragenbleche sind mit einem Kantenschutzprofil versehen, welches eine Hohlkammer aufweist, um einen spaltfreien Übergang zur Seitenwandverkleidung zu gewährleisten. Dieses Profil mindert auch die Verletzungsgefahr bei falscher Bedienung der Verschiebeeinheit im Wgt 1. Zum Abdecken von Spalten und zur Vermeidung von Geräuschbildung sind Filz- und Dichtbänder (Compribänder) an den Grenzflächen bewegter Teile vorgesehen. Diese kommen auch an den Anschlussflächen zum Interface zum Einsatz. Wie bereits in der Konzeptphase festgelegt, wurde im Wgt 1 eine Wartungsklappe vorgesehen, durch welche man das Schauglas der Sandungsanlage einsehen und im Bedarfsfall den Rastbolzen betätigen kann, um die Sitzgruppe zu verschieben. Diese wurde mittels eines von außen nicht sichtbaren Scharniers und eines Sicherheitsvorreibers ausgeführt, um den Anforderungen zu entsprechen.

Damit der Verkleidung die notwendige Stabilität verliehen wird, welche zum Abziehen der Klettbänder und im Kontakt mit Fahrgästen notwendig ist, wurde als Grundmaterial ein 1,5 mm starkes Stahlblech gewählt.

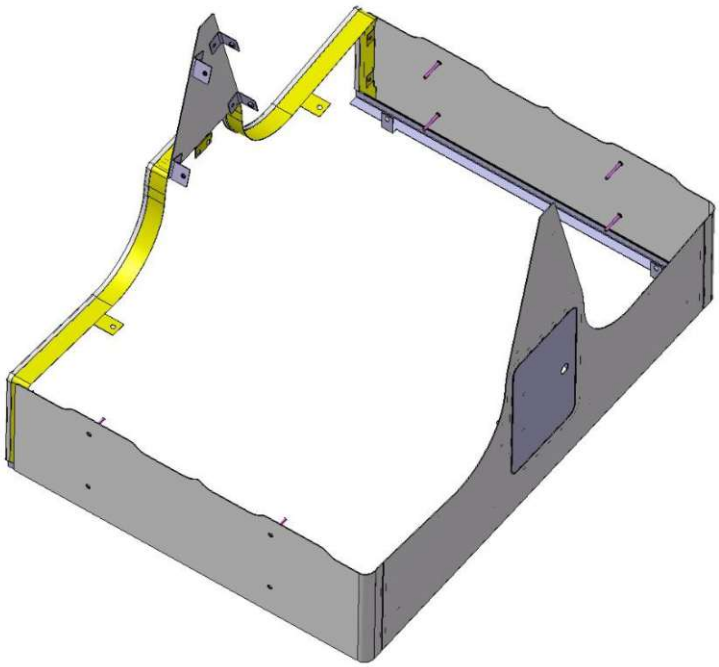


Abbildung 36: Verkleidung Wgt 1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

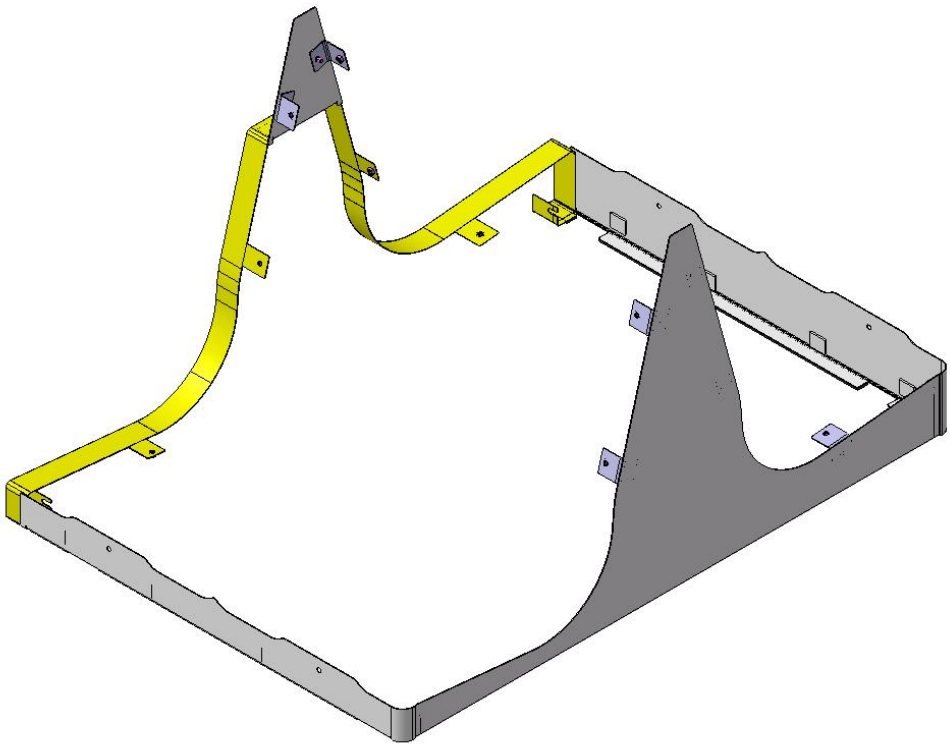


Abbildung 37: Verkleidung Wgt 3

3.3.5 FEM Analyse 1

Wie bereits im Abschnitt 1.5 erwähnt, wurden die FEM Analysen nicht vom Verfasser dieser Arbeit durchgeführt, sondern von Fachpersonal des Unternehmens BT. Die zur Erstellung der Modelle und Lastfälle sowie zur Auswertung notwendigen Abstimmungen wurden stets vom Ersteller begleitet.

Für den Festigkeitsnachweis von Straßenbahnsitzen gibt es je nach Betreiberwunsch unterschiedliche Richtlinien zur Berechnung und Prüfung. Im deutschsprachigen Raum wird oft die UIC 566 für die Prüfung von Straßenbahnsitzen herangezogen, welche einen Test am realen Bauteil nach Anlage 7 fordert [15]. Da Straßen- und Stadtbahnen nicht in den Geltungsbereich der UIC 566 fallen, welcher Reisezugwagenkästen und Anbauteile umfasst, [15] und Tests dieser Art mit hohen Kosten verbunden sind, wird diese Norm für die vorläufigen Festigkeitsnachweise nicht herangezogen. Die Lasten nach Anlage 7 können jedoch orientierend überprüft werden. Festigkeitstests am realen Bauteil werden ebenso in der französischen Norm NF F31-119 gefordert, welche auch auf Straßenbahnsitze zutrifft. Der Umfang der notwendigen Prüfungen übersteigt jedoch den Aufwand der UIC 566, wenn auch die Lastfälle ähnlich sind [16], daher wird diese Norm ebenfalls vorerst nicht herangezogen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Wie die beiden bereits erwähnten Richtlinien weist die VDV 152 ebenso ähnliche Lastfälle auf, fordert jedoch keine Tests am realen Sitz, weiters ist sie für Fahrzeuge anwendbar, welche der BOStrab unterliegen [17] und somit auch für Straßenbahnen geeignet. [4]

Für die Auslegung der Sitzbefestigung werden nach VDV 152 folgende Lasten vorgegeben:

- vertikal: -1500 N senkrecht mittig auf die Sitzfläche
- horizontal: 1500 N senkrecht auf die Rückenlehne 40 mm unterhalb der Oberkante

Da an den Sitzgruppen Anhaltegriffe angebracht sind, müssen auch die eingeleiteten Kräfte dieser berücksichtigt werden. Diese sind laut VDV 152 wie folgt definiert: *„Handläufe, Haltestangen und Haltegriffe müssen eine Kraft von 1500 N, aufgebracht an einem beliebigen Punkt in einer beliebigen Richtung, ertragen, ohne dass eine bleibende Deformation an der Komponente oder ihrer Befestigung hervorgerufen wird.“* [17]

Um den Aufwand möglichst gering zu halten, wurde beschlossen, vorerst nur die Sitzgruppe des Wgt 1 zu modellieren und auszuwerten. Die Ergebnisse sollen ebenso Rückschlüsse auf die Konstruktion des Wgt 3 liefern.
Es wurde festgestellt, dass die für den Rahmen verwendeten U-Profile eine zu geringe Steifigkeit aufweisen, um den Lasten standzuhalten. Sitzschale, Abschlusskappe und Anhaltebügel sind ausreichend dimensioniert.

3.3.6 Optimierung

Bei der FEM Simulation wurde sehr eindeutig ersichtlich, dass die U-Profile, welche für die Rahmen gewählt wurden, in dieser Ausführung den angesetzten Lastfällen nicht genügen. Hier wurde der Entwurf mittels Vollprofilen mit geringerer Wandstärke hinsichtlich Festigkeit optimiert. Diese Umstellung bringt jedoch Einschränkungen bezüglich der Auswahl des Oberflächenschutzes, welche später beim Entwerfen beachtet werden müssen. Eine weitere Verbesserung zeigte sich durch eine Erhöhung der Steifigkeit des Trag- und Verschieberahmens an den Anbindungsstreben der Rastbolzenverbindung, um die elastische Verformung aufgrund der Lasten in Y-Richtung zu verringern. Hier wurden voluminösere Profile eingesetzt, um das Widerstandsmoment zu erhöhen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

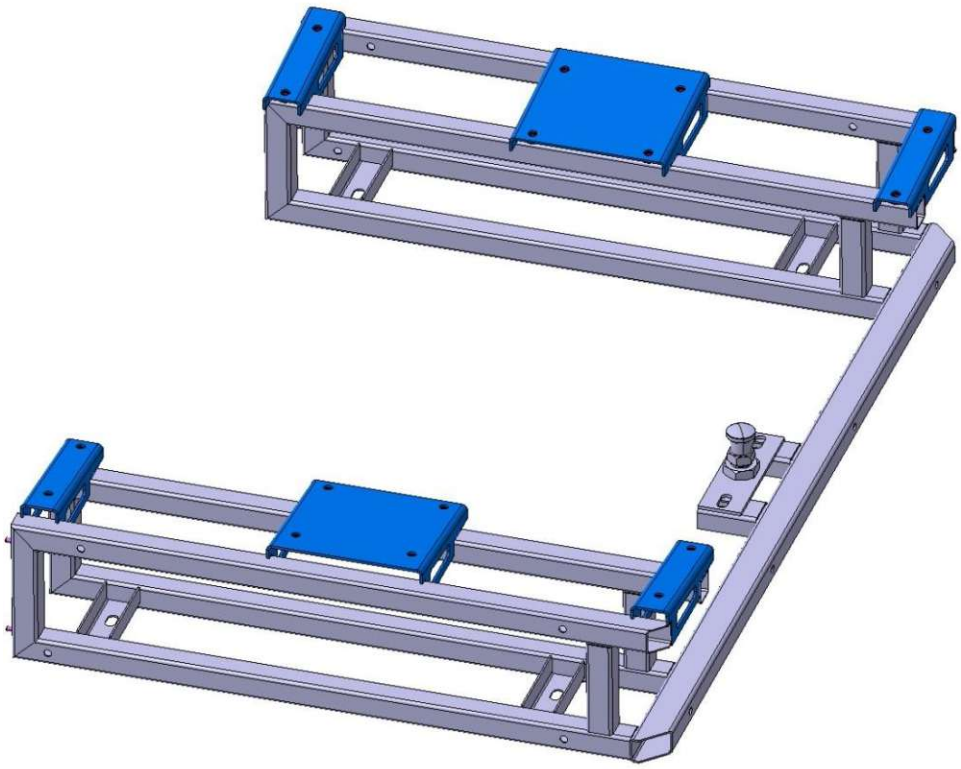


Abbildung 38: ReRo Tragrahmen Wgt 1

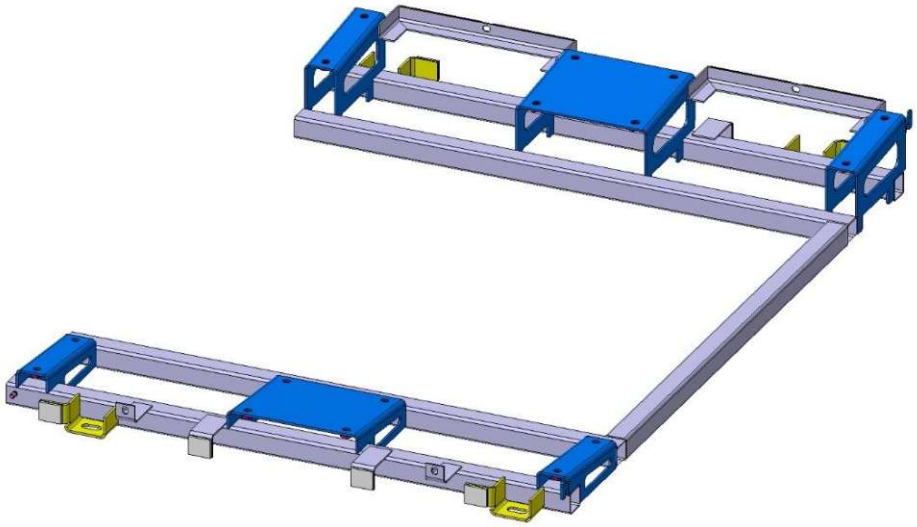


Abbildung 39: ReRo Rahmen Wgt 3

Weiters ist aufgefallen, dass die Sitzschalen meist nur sehr geringe Spannungen im Vergleich zur Streckgrenze des bisherig eingesetzten Werkstoffes ENAW 6060 - T6, welcher auf T6 vergütet wird, aufweisen. Hier könnte ein Vergütungszustand, welcher mit geringerem Aufwand erreicht werden kann, Kosten einsparen.

Die Rohprofile werden in T4 produziert, was lösungsgeglüht und kaltausgelagert entspricht. [18] Um den Zustand T6 zu erreichen, ist nach dem Umformen vom Rohprofil zur Sitzschale ein Warmauslagern und somit eine zusätzliche Wärmebehandlung, welche auch mit Kosten verbunden ist, notwendig. Daher muss

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

abgeklärt werden, ob die mechanischen Eigenschaften von der gewählten Legierung in T4, welche den Eigenschaften von T6 bezüglich Festigkeit unterlegen sind, ausreichen. Dies soll im Zuge der zweiten FEM Simulationsschleife abgeklärt werden, da dazu eine feinere Vernetzung der Sitzschale notwendig ist.

Um das Gesamtgewicht der Sitzbaugruppen zu minimieren, gab es die Idee, an den Verkleidungselementen durch eine Reduktion der Blechdicke von 1,5 mm auf 1 mm ca. 30 % Gewicht einzusparen. Da diese Elemente jedoch in sehr intensivem Kontakt mit Passagieren und deren Gepäckstücken stehen, wurde dies in Folge interner Diskussionen verworfen. Auch bei der Montage / Demontage können durch Klettbänder, unsachgemäße Handhabung, Werkzeug, usw. Belastungen auftreten, welche bei niedrigen Blechstärken zu Beschädigungen führen könnten.

Die Abschlusskappe oben, welche für alle drei Sitzgruppenvarianten aus einem Gussrohteil gefertigt wird, könnte durch ein Aluminiumstrangpressprofil und Aluminiumabschlussteile ersetzt werden. Dadurch könnten Kosten reduziert werden, wenn es gelingt, diese Teile bei zukünftigen Projekten wiederzuverwenden. Optisch wäre hier eine Trennung zwischen Strangpressprofil und Abschlusselementen als Schattenfuge zu erkennen. Auch diese Möglichkeit wurde intern sehr detailliert diskutiert, schlussendlich jedoch nicht weiterverfolgt. Die Geometrie der Abschlusskappe beeinflusst maßgeblich die Sitzhöhe, die Höhe der Rückenlehne und die Länge der Sitzgruppe, somit auch die Beinfreiheit und den Bauraum für Equipment unter der Sitzgruppe. Da diese Parameter nur sehr selten vollkommen, ident von einem Projekt in ein weiteres übernommen werden können und die Bauteilvielfalt im Vergleich zu einem Gussteil ansteigen würde, wurde diese Idee verworfen.

Da für die Abschlusskappe vorne aufgrund der neuen Sitzbreite mit 420 mm ohnehin ein neues Werkzeug notwendig ist und die Bauteilkosten bei der aktuellen RIM Ausführung Einsparungspotential erwarten lassen, werden Alternativmaterialien für dieses Bauteil gesucht. Vielversprechend hierfür scheint ein Aluminiumgussteil, welches bereits ähnlich bei der Klappsitzversion des BT–Sitzes verwendet wird. Ein Bauteil aus Aluminium bei gleichbleibender Geometrie scheint Vorteile bezüglich Kosten, Festigkeit und Oberfläche bei geringen Einbußen bezüglich des Gewichtes zu bringen. Gespräche mit Fertigungsunternehmen ergaben jedoch, dass eine prozesssichere mechanische Bearbeitung der Nuten und Freistellungen mittels Fräsen infolge der geringen möglichen Durchmesser der Fräser in Kombination mit den tiefen Nuten sowie der geringen Wandstärken nicht möglich ist. Da die zu erwartenden Einsparungen den Aufwand zur Umgestaltung nicht rechtfertigen, wird dies nicht weiterverfolgt. Höhere Einsparungen und damit vertretbare Aufwände sind jedoch von einer Ausführung als Spritzgussteil zu erwarten. Eine Untersuchung der Machbarkeit wurde daher direkt bei einem Unternehmen, welches auf Spritzgussteile spezialisiert ist, beauftragt. Die Ergebnisse müssen erst durch Tests und Berechnungen validiert

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

werden. Da diese Untersuchung nicht durch den Verfasser dieser Arbeit durchgeführt wird und Ergebnisse voraussichtlich erst nach der Fertigstellung dieser Arbeit zur Verfügung stehen werden, ist dies nicht mehr Inhalt dieser Arbeit.

3.3.7 FEM Analyse 2

Aufgrund der in 3.3.6 erwähnten Änderungen an den strukturellen Bauteilen der Sitzgruppen musste die FEM Berechnung nochmals anhand eines aktualisierten Modells wiederholt werden. Ein positiver Festigkeitsnachweis nach der VDV 152 ist unbedingt zu erbringen, bevor mit dem Anfertigen von Fertigungsunterlagen begonnen werden kann. Um auch die Nachgiebigkeit des Rohbaus in die Simulation miteinzubeziehen sowie dessen Festigkeit zu validieren, wurde das Interface zur Sitzgruppe mit abgebildet und berechnet. Ebenso wurden die Sitzschalen nochmals genauer betrachtet, ob ein Material mit niedriger Dehngrenze den Anforderungen genügen könnte.

Für die Simulation wurde für die Rahmen von einem Stahlblech mit einer Dehngrenze von 235 N/mm² ausgegangen. Bei den in Abbildung 40 dargestellten Lastfällen erwies sich der Lastfall 3 für die Konstruktion als am kritischsten. Hier ist bei der im Rahmen des Ausarbeitens vorzunehmenden Materialzuweisung für die in Abbildung 41 dargestellte Komponente (*Anschraubprofil unten*) ein geeignetes Material (z.B. S355 JR) zu wählen. Da hier die vorerst angenommene Streckgrenze von 235 N/mm², für unlegierten Baustahl (z.B. S235 JR), mit einer auftretenden Spannung von 262 N/mm² überschritten wird. Diese neue Erkenntnis ist durch die Berücksichtigung der Nachgiebigkeit des Rohbaus erlangt worden, bei einer fixen Einspannung wie in der ersten Simulation treten in diesem Bereich signifikant niedrigere Spannungen auf.

Weiters musste festgestellt werden, dass eine Aluminiumlegierung ENAW 6060 - T4 für die Sitzschalen in der aktuellen Version unterdimensioniert wäre, da in den Verschraubungspunkten die Streckgrenze von 60 N/mm² überschritten wird, mit der ursprünglich angenommenen Vergütungsstufe T6 sind jedoch keine Probleme hinsichtlich Festigkeit zu erwarten.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Lastfall	Kräfte
LC1	F1+F2+F3+F4
LC2	F1+F2+F3+F4+F5+F6+F9
LC3	F1+F2+F3+F4+F7+F8-F9
LC4	F1+F2+F3+F4+F10

Tabelle 1: Lastfälle

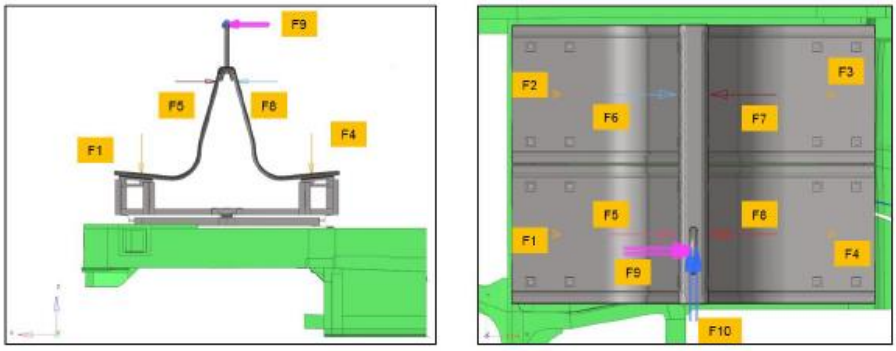


Abbildung 40: Lastfälle FEM Berechnung [19]

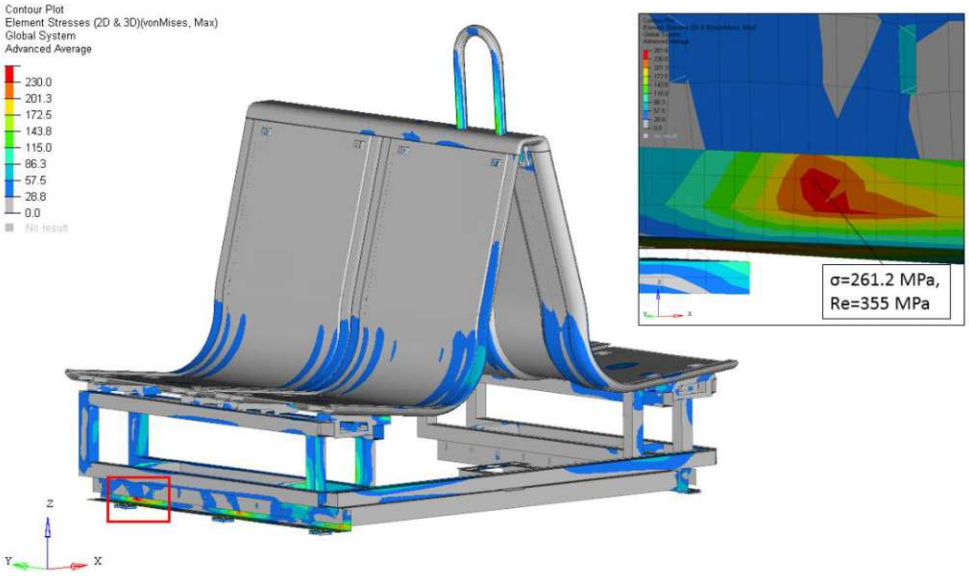


Abbildung 41: Ungünstigster Lastfall LC 3 [19]

3.4 Validierung / Preliminary Design Review

Nach den Anpassungen, welche im Zuge der Optimierung durchgeführt wurden, müssen die Entwürfe nochmals positiv validiert werden, um eine Freigabe zur Ausarbeitung zu erhalten. Dies ist in Abbildung 9 mit dem Entscheidungsbaustein *„Festlegen des endgültigen Entwurfs; Freigabe zur Fertigung“* [8] & [11] abgebildet. Im BT internen Prozess wird diese Freigabe mittels fertig abgeschlossenem PDR erteilt. Dazu müssen unter anderem positive Ergebnisse des Festigkeitsnachweises vorliegen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

und sämtliche Fragen und Anmerkungen anderer Abteilungen wie RAM, Safety, Procurement usw. vollständig und befriedigend beantwortet werden.

Da bereits nach dem Aufstellen der Anforderungsliste offensichtlich war, dass mittels einer üblichen Sitzgruppenkonstruktion kein zufriedenstellendes Ergebnis für die DVG und für BT erzielt werden kann, wurde bereits während der Konzeptfindungsphase das PDR zum Teil abgehalten. Zu diesem Zeitpunkt war ein positives Abschließen vollkommen ausgeschlossen, jedoch wurden dadurch sämtliche beteiligten Stellen über die Situation im Projekt frühzeitig informiert. Es wurden die möglichen Lösungsvarianten vorgestellt, Anmerkungen und Fragen dazu gesammelt bzw. wenn möglich beantwortet und Entscheidungen für ein bevorzugtes Vorgehen getroffen. Auch wurden neue Bedingungen gestellt, welche an das Vorgehen geknüpft sind. So wurde beschlossen, aufgrund der Neuartigkeit des Konzeptes der verschiebbaren Sitzgruppe im Wgt 1 einen Prototyp produzieren zu lassen, welcher die einwandfreie Funktion, Haptik und Machbarkeit bestätigen soll.

Zum Ende der Entwurfsphase konnten alle technisch relevanten Punkte positiv bewertet werden, auch eine erneute FEM Simulation, welche, wie in 3.3.7 dargelegt, die Anpassungen aus der Optimierungsphase berücksichtigt sowie die Validierung mittels des beauftragten Prototyps (in 3.4.1 umschrieben) lieferten zufriedenstellende Ergebnisse.

3.4.1 Prototyp

Wie bereits erwähnt, sollen mittels eines Prototttyps die Funktion, Haptik und Machbarkeit des Verschiebemechanismus bestätigt werden. Für die Fahrgäste darf unter keinen Umständen ein Klappern oder Rütteln durch die Verschiebeeinheit spürbar sein. Es soll im Fahrbetrieb nicht erkennbar sein, dass es sich um verschiebbare Sitzgruppen handelt. Ebenso soll der Entwurf, welcher auf einer Schweißkonstruktion beruht, kritisch hinsichtlich Toleranzen, Verzug und Machbarkeit geprüft werden.

Da die Sitzschalen als strukturelles Bauteil zur Steifigkeit der Verschiebeeinheit signifikant beitragen und Kräfte und Lasten hauptsächlich über diese eingeleitet werden können, müssen diese unbedingt Teil des Prototyps sein. Dies führt jedoch zu Schwierigkeiten, da zum Zeitpunkt der Beauftragung des Versuchsmodells keine Sitzschalen in der Breite von 420 mm verfügbar sind. Daher wurde nach Untersuchung der Möglichkeiten beschlossen, verfügbare Sitzschalen in 450 mm Breite und eine Abschlusskappe oben aus dem Projekt Düsseldorf für den Aufbau zu verwenden und durch mechanische Bearbeitung an die Rahmenkonstruktion anzupassen. Verkleidungselemente beinträchtigen die Funktion der Verschieberahmen nicht, daher wurden diese im Prototyp nicht berücksichtigt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Beauftragt wurde die Fertigung sämtlicher Komponenten ausgenommen Sitzschale und Abschlusskappe, wie in Abbildung 44 dargestellt, bei einem potenziellen Unternehmen für die spätere Lieferung der Serie. Die mechanische Bearbeitung, welche an den Schalen notwendig war, um diese auf den Rahmen montieren zu können, wurde BT intern durchgeführt. Leider wurde durch einen Produktionsfehler des Zulieferbetriebes die Hublänge um 70 mm reduziert, was aber auf die Validierung keinen Einfluss nimmt und somit für den Prototyp akzeptiert worden ist.

Das Mockup, wie in Abbildung 42 und Abbildung 43 dargestellt, wurde von Seiten BT genau untersucht und geprüft. Nach Absprache mit dem Produktionsunternehmen der Rahmenkomponenten konnte bestätigt werden, dass die vorgesehenen Toleranzen keine Probleme bei der Fertigung verursachen und mittels einer Schweißlehre garantiert werden können. Ebenso stellen die etwaig auftretenden Verzüge durch das Schweißen keine Probleme dar, da ausreichende Einstellmöglichkeiten vorgesehen wurden. Lediglich wurde angemerkt, dass für den Transport ohne montierter Sitzschale abnehmbare Versteifungsstreben vorteilhaft sind, da es dem Rahmen ohne montierte Sitzschalen an Steifigkeit fehlt.

Abbildung 42: Prototyp ISO Ansicht

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildung 43: Prototyp ausgefahrener Zustand

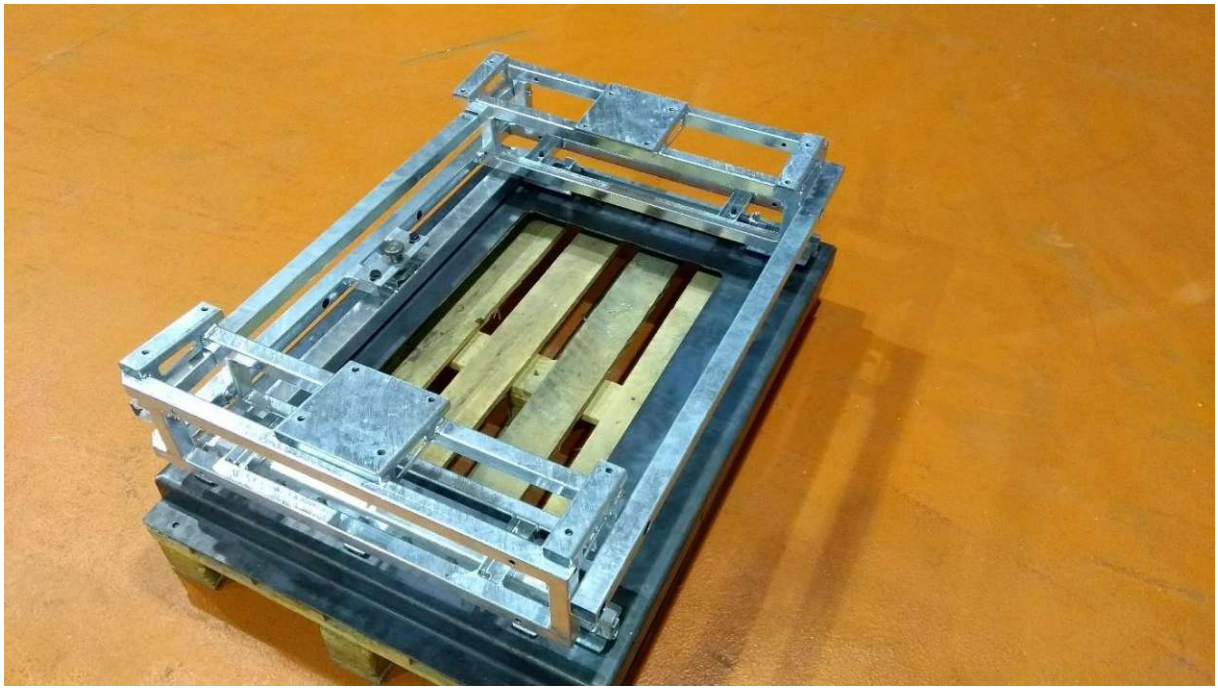


Abbildung 44: Prototyp ohne Sitzschalen und Abschlusskappe oben, mit Transportstreben

3.5 Ausarbeiten

Wie bereits erwähnt, ist das Erstellen von Fertigungszeichnungen und Fertigungsdokumenten nicht mehr Inhalt dieser Arbeit, jedoch sind nach dem Entwerfen noch nicht alle Bauteileigenschaften vollständig definiert. Werkstoffe, Oberflächen und Farbdefinitionen müssen noch den Anforderungen entsprechend gewählt werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die grundlegenden Werkstoffgruppen der Bauteile wurden bereits in der Konzeptfindungsphase ausgewählt bzw. durchdacht. Dies ist vor allem für eine sinnvolle Konstruktion sowie für die FEM Berechnung eine Grundvoraussetzung, um brauchbare Ergebnisse zu erzielen. Mit den Erkenntnissen aus der FEM Berechnung konnte die Werkstoffauswahl finalisiert werden. Eine Übersicht über die gewählten Werkstoffe und mechanischen Eigenschaften kann der Tabelle 13 entnommen werden.

Bauteil	Werkstoff	E-Modul [MPa]	Streckgrenze [MPa]
Haltegriff	X5CrNi18-10	210000	230
Abschlusskappe	AlSi10Mg-K-T6	70000	140
Sitzschale	ENAW 6060-T6	70000	160
Rahmen	S235 JR	210000	235
Anschraubprofil unten	S355 JR	210000	355
Verkleidung	S235 JR	210000	235

Tabelle 13: Werkstoffauswahl und mechanische Eigenschaften [20]

Oberflächen und Farbauswahl für Komponenten, welche für Fahrgäste sichtbar sind, wurden bereits in der Projektfarbliste definiert. Den Rahmen, welche sich im nicht sichtbaren Bereich befinden, ist jedoch noch keine Oberflächenbehandlung zugewiesen. Da es sich beim verwendeten Werkstoff um einen nicht korrosionsfesten Stahl handelt, muss dieser jedenfalls gegen im Innenraum auftretende korrosive Medien wie z.B. leicht salzhaltiges Wasser und Reinigungsmittel geschützt werden. Hierfür stehen vorerst folgende Möglichkeiten zur Auswahl:

- Kathodische Tauchlackierung
- Pulverbeschichten
- Nasslackieren
- Feuerverzinken

Da die Setzung des Korrosionsschutzes bei strukturellen Schraubenverbindungen zu beachten ist, sind diese Bereiche bei Pulverbeschichtung und Nasslackieren gesondert zu behandeln. Dieser Aufwand, wirtschaftliche Aspekte sowie die zahlreichen Hohlräume führten zum Ausschluss dieser beiden Verfahren. Durch weitere interne Abstimmungen sowie die Konsultation von potenziellen Zulieferunternehmen erwies sich Feuerverzinken als die zu bevorzugende Variante. Jedoch ist zu beachten, dass für das Auslaufen des Zinkes aus Taschen und Hohlräumen Freistellungen notwendig sind. Deren Position und Ausführung muss jedoch nach der finalen Lieferantenentscheidung abgestimmt werden und ist somit nicht mehr Inhalt dieser Arbeit.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.5.1 Detailed Design Review

Das *Detailed Design Review* wurde nach den finalen Entscheidungen aus der Ausarbeitungsphase durchgeführt.

Sämtliche technische, kaufmännische, sicherheits- und produktionsbeeinflussende Aspekte des Sitzsystems wurden nochmals genau beleuchtet und hinterfragt. Da alle Anfragen zufriedenstellend beantwortet und belegt werden konnten und auch die im PDR aufgezeigten Punkte beachtet wurden, konnte das Review erfolgreich abgeschlossen werden. Mit diesem Meilenstein kann auch die Freigabe der Fertigungsdokumente erfolgen und somit der Umfang dieser Arbeit abgeschlossen werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4 Diskussion und Ausblick

Um die erzielten Ergebnisse zu diskutieren, bietet es sich an, dies anhand der anfangs gestellten Forschungsfragen zu tun:

Ist das Konzept BT–Leichtbausitz für das Projekt Duisburg geeignet?
Da das Projekt Duisburg auf einem Vorgängerprojekt basiert, welches mit einem anderen Sitz ausgestattet ist, und der BT–Sitz vorab noch nicht als Sitzgruppe bestand, erschien es anfangs als sehr schwierig und herausfordernd. Diese Komplexität gab auch den Anstoß, dieses Thema im Zuge dieser Diplomarbeit aufzuarbeiten. Durch eine systematische Herangehensweise und eine hervorragende Kooperation der Abteilungen und MitarbeiterInnen von BT konnte die Aufgabe gelöst werden. Vor allem in Bezug auf die Serviceaufwände konnte ein großer Fortschritt erzielt werden, somit ist auch die Forschungsfrage mit Ja zu beantworten.

Welche Anpassungen sind notwendig, um alle Anforderungen zu erfüllen?
Es wurde versucht, möglichst viele bereits erprobte Komponenten und Konzepte aus vorangegangenen Entwicklungen des BT-Sitzes zu übernehmen. Jedoch bestand noch kein Konzept für eine Sitzgruppe aus vier Sitzen über Radkästen. Hierfür mussten Rahmen und Verkleidungselemente entsprechend den Anforderungen entwickelt werden. Aufgrund der Problematik im Wgt 1 musste eine Möglichkeit geschaffen werden, um den Polsterträger zu tauschen bzw. die Sandungsanlage aus dem Innenraum zu befüllen.

Wie kann man so ein Sitzsystem entwickeln und konstruieren?
Aufgrund der Komplexität der Problemstellung erwies sich eine systematische Herangehensweise der Produktentwicklung im Zuge dieser Arbeit als sehr nützlich. Als Leitfaden für dieses Vorgehen wurde vor allem das Buch Phal / Beitz als sehr hilfreich empfunden. Jedoch muss beachtet werden, dass die angewendeten Methoden in Umfang und Qualität der Aufgabe entsprechen, um die notwendigen Aufwände einzugrenzen. Weiters ist moderne Software zur rechnerunterstützten Konstruktion eingesetzt worden. Deren Vorteile konnten in allen Produktentwicklungsphasen genützt werden.

Vor allem für den *Flex Care Wartungsvertrag* konnte bezüglich der Wartung der Sandungsanlagen mit der entwickelten Lösung der verschiebbaren Sitzgruppen eine sehr gute Lösung geschaffen werden. Dies ist jedoch bei zukünftigen Projekten zu beachten, welche keinen Vertrag zur Wartung des Fahrzeuges beinhalten, da Bauteilkosten nicht durch Serviceeinsparungen gegengerechnet werden können.

Um bei Projekten mit abweichender Stückzahl die Gesamtkosten möglichst niedrig zu halten, ist eine erneute Betrachtung jener Komponenten, welche hohe Werkzeugkosten aufweisen und nicht wiederverwendet werden können, notwendig. Da im Laufe dieser Arbeit leider noch kein Zulieferunternehmen fixiert werden konnte, wurden Lösungen sehr allgemein gehalten. Hier könnte durch eine Kooperation mit einem geeigneten Unternehmen noch Potential zur Kostenoptimierung gefunden werden, wenn die Konstruktion hinsichtlich der jeweiligen Möglichkeiten des Fertigungsbetriebes verbessert wird.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Ebenso wurde während der Ausarbeitungsphase und im intensiven Kontakt mit potenziellen Fertigungsbetrieben festgestellt, dass das Sitzschalenprofil und die Formgebung durch Biegen sehr schwierig zu fertigen sind. Nur wenige Unternehmen in Europa können die notwendigen Kompetenzen und technischen Möglichkeiten zur Produktion dieses wesentlichen Bauteiles des BT–Sitzes vorweisen. Der große Umschlingungskreis des Grundprofiles, die geforderten Toleranzen und das geringe Metergewicht beim Biegen trotz großer Breite stoßen an die Grenzen des technisch Machbaren. Um für zukünftige Projekte, welche ev. Sitzschalen in unterschiedlichen Breiten umfassen, gewappnet zu sein, würde sich die Weiterentwicklung dieser Komponente anbieten.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5 Anhang

5.1 Auslegung IBC Linearführungen

Abmessungen Sitzgruppe:

Abmessungen:	[mm]
a	930
b	230
c	650
d	650
e	890
g	427
h	260

Tabelle 14: Abmessungen

Kräftevorgaben nach VDV 152 pro Sitzplatz und Anhaltebügel:

Kräfte laut VDV 152	Wert [N]	Beschreibung
F1	1500	Vertikale Last mittig auf der Sitzfläche
F2	1500	Horizontale Last 40 mm unterhalb der Oberkante auf die Rückenlehne
F3	1500	Haltekraft in jede Richtung am Anhaltebügel

Tabelle 15: Kräftevorgaben

Lastfall 1: Berechnung laut VDV 152

Lastfall 2: Annahme des ungünstigsten Lastfalles für die Linearführungen

Bezeichnung	Wert für Lastfall 1 [N]	Wert für Lastfall 2 [N]
F1f	1500	1500
F1g	1500	1500
F1f'	1500	1500
F1g'	1500	1500
F2f	1500	1500
F2g	1500	1500
F2f'	1500	0
F2g'	1500	0
F3	1500	1500

Tabelle 16: Lastfälle

Berechnung der Kräfte in Z-Richtung

$$\sum Momente\ um\ Punkt\ A = 0 \ \rightarrow FBz$$

$$FBz = \frac{(F3 * d) + \frac{F2f - F2f' + F2g - F2g'}{c} + (F1f' + F1g') * \left(e - \frac{e-a}{2}\right) - (F1f + F1g) * \frac{e-a}{2}}{a}$$

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Formel 2: Führung B; Kräfte in Z-Richtung

$$\sum Fy = 0 \rightarrow FAz$$

$$FAz = F1f + F1g + F1f' + F1g' - FBz$$

Formel 3: Führung A; Kräfte in Z-Richtung

Berechnung der Kräfte in X–Richtung (Annahme statisch bestimmt, Führung A Festlager und Führung B Loslager)

$$\sum Fx = 0 \rightarrow FAx$$

$$FAx = F2f + F2g + F3x - F2f' - F2g'$$

Formel 4: Führung A; Kräfte in X-Richtung

Berechnung des Biegemomentes um die X-Achse

$$\sum Momente\ um\ X = 0 \rightarrow Mx$$

$$Mx = \frac{F3y * d + \frac{F1g * g}{2} + \frac{F1g' * g}{2}}{2}$$

Formel 5: Biegemoment um die X-Achse

Ergebnisse:

Bezeichnung	Lastfall 1 [N]	Lastfall 2 [N]	Lastfall 3 [N*m]
Fbz	4048	6145	-
Faz	1952	-145	-
Fax	1500	4500	-
Mx	-	-	807,75

Tabelle 17: Ergebnisse Lasten Linearführung

Die Linearführungen wurden nach der statischen Tragzahl ausgelegt, diese müssen den auftretenden Lasten entsprechen. Die Auswahl fiel durch Abgleich mit dem IBC Produktkatalog auf die Linearführung IBC LCAE 35-0770, welche den Anforderungen an Hub und Lasten genügt [14]. Diese Auswahl wurde ebenso von IBC bestätigt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

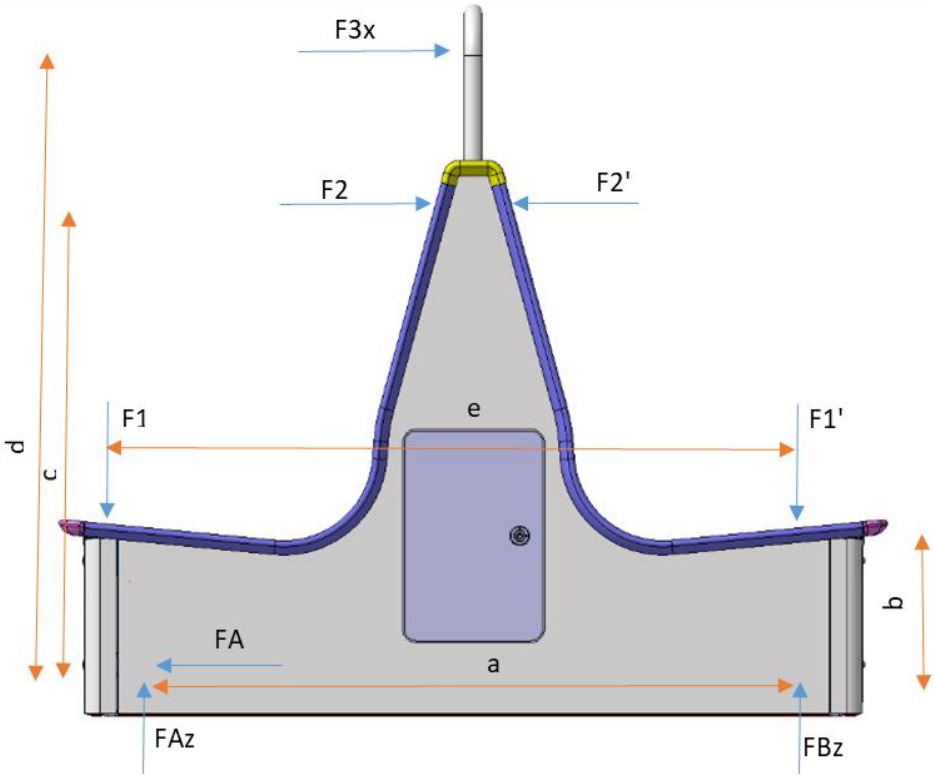


Abbildung 45: Skizze Auslegung Linearführungen Lastfall 1 & 2

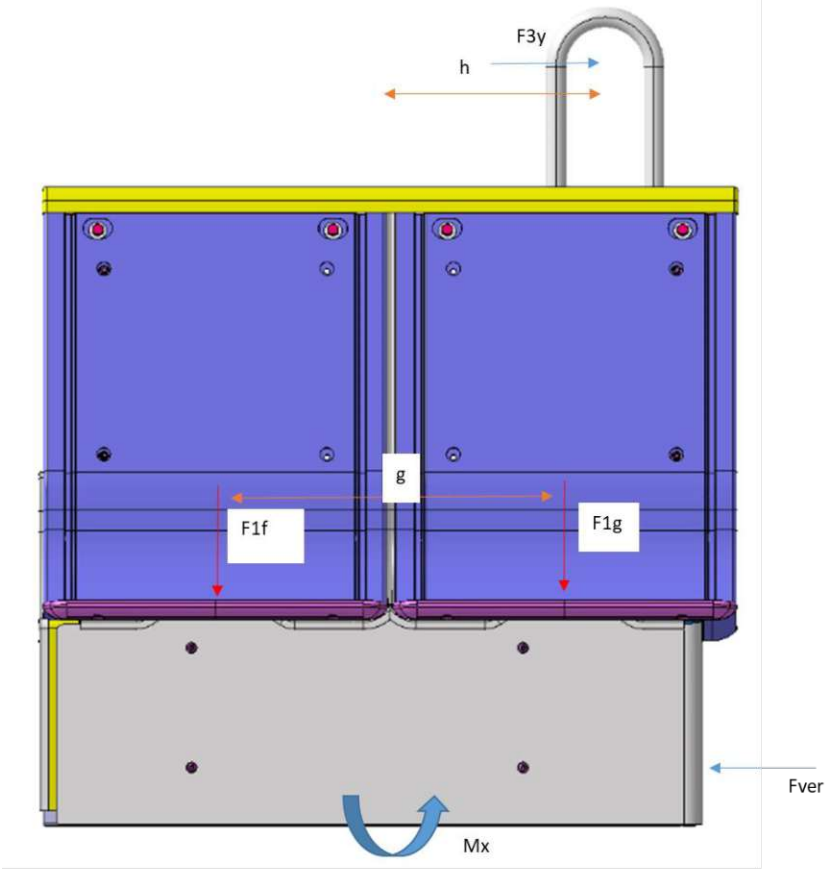


Abbildung 46: Vorderansicht Auslegung Linearführungen 1 & 2

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.2 Auslegung Rastbolzen

Maximalmasse Fahrgast pro Sitzplatz M_g = 150 Kg

Angenommene Masse Sitzgruppe M_s = 80 Kg

Lateralbeschleunigung a_y = 10 m/s²

Anhaltekraft am Anhaltebügel $F3_y$ = 1500 N

Sicherheit bei wechselnder Belastung s = 4

Maximallast der Verriegelung:

$$F_{ver} = \left[\left(4 * M_g + M_s\right) * a_y + F3_y\right] * s = 8720\ \mathrm{N}$$

Formel 6: Maximallast auf die Verriegelung

Bolzendurchmesser Vorauswahl d = 12 mm

Annahme Abstand Kraftangriffspunkt l = 4 mm

Widerstandsmoment Rundstab:

$$W_b = \frac{d^3 * \pi}{32} = 169{,}6\ \mathrm{mm^3}$$

Formel 7: Widerstandsmoment Rundstab [21]

Biegespannung:

$$\sigma_b = \frac{F_{ver} * l}{W_b} = 205{,}6\ \frac{N}{mm^2}$$

Formel 8: Biegespannung [21]

Abscherung:

$$\tau_a = \frac{4 * F}{d^2 * \pi} = 77\ \frac{N}{mm^2}$$

Formel 9: Abscherspannung [21]

Vergleichsspannung nach Gestaltänderungshypothese:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma b^2 + 3 * \tau^2} = 364{,}3 \frac{N}{mm^2}$$

Formel 10: Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungshypothese [21]

Der Rastbolzen ist mit dem Werkstoff C 45 Pb und Bolzendurchmesser d = 12 mm ausreichend dimensioniert, da die Streckgrenze nicht überschritten wird [22].

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

6 Literaturverzeichnis

[1] Bombardier-Transportation, *SiteFactSheet-Vienna-Austria*. Wien, 2014.

[2] Janicki, Jürgen, & Reinhard, Horst, J. Janicki, and H. Reinhard, *Schienenfahrzeugtechnik,* 2nd ed. Heidelberg: Eisenbahn-Fachverlag; Bahn-Fachverl., 2008.

[3] *DIN 25003:2001-09, Bahnanwendungen_- Systematik der Schienenfahrzeuge_- Übersicht, Benennungen, Definitionen*, 2001.

[4] *Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung - BOStrab): BOStrab*, Zuletzt geändert durch Art. 1 V v. 2016 I 2938.

[5] *DIN EN 45545-2:2016-02, Bahnanwendungen_- Brandschutz in Schienenfahrzeugen_- Teil_2: Anforderungen an das Brandverhalten von Materialien und Komponenten; Deutsche Fassung EN_45545-2:2013+A1:2015*.

[6] DVG, *Neue Straßenbahnen: Prototypen sollen ab 2019 auf der Schiene sein*, 2017.

[7] Bombardier-Transportation, *Bombardier Awarded Contract to Deliver 47 Trams for Duisburg, Germany*. Berlin, 2017.

[8] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, and K.-H. Grote, *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung,* 7th ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007.

[9] W. Engeln, *Methoden der Produktentwicklung,* 2nd ed. München: Oldenbourg-Industrieverl., 2011.

[10] K. Ehrlenspiel, A. Kiewert, and U. Lindemann, *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung,* 5th ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.

[11] J. Feldhusen and K.-H. Grote, Eds., *Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung,* 8th ed. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013.

[12] A. Albers, Ed., *Simultaneous Engineering, Projektmanagement und Konstruktionsmethodik - Werkzeuge zur Effizienzsteigerung // Entwicklung und Konstruktion im Strukturwandel: Fulda, 6. und 7. Juni 1994*. Düsseldorf: VDI-Verl., 1994.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

[13] J. C. Aurich and M. H. Clement, *Produkt-Service Systeme: Gestaltung und Realisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

[14] I. B.C. Wälzlager, “IBC Telescopic Runner,” TI-I-7005.2/D, 2018.

[15] International Union of Railways, *UIC 566: LOADINGS OF COACH BODIES AND THEIR COMPONENTS,* 3rd ed., 1994.

[16] AFNOR, *NF F 31-119 Railway rolling stock.: Behaviour of rolling stock' seats at statics stress, fatigue stress, vibrations stress and shocks stress*, 1995.

[17] Schienenfahrzeugausschuss, *VDV 152: Empfehlungen für die Festigkeitsauslegung von Personenfahrzeugen nach BOStrab*. Köln, 2016.

[18] Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Paul Heinz Mayrhofer, *Ingenieurswerkstoffe: Vorlesungsteil metallische Werkstoffe und keramische Werkstoffe*, 2015/16.

[19] Elvir Selimovic, “Duisburg - Festigkeitsberechnung Vierersitzgruppe,” Sep. 2018.

[20] J. Lehberger, M. Barthel, W. Mogilowski, M. Scheurmann, and E. Wiens, Eds., *Friedrich Tabellenbuch Metall- und Maschinentechnik: Technologie/Fachkunde/Fachtheorie ; Technische Mathematik/Fachrechnen ; Mathematische, physikalische und elektrotechnische Grundlagen ; Technisches Zeichnen/Technische Kommunikation ; Automatisierungstechnik ; Qualitätsmanagement ; Arbeits- und Umweltschutz,* 169th ed. Köln: Bildungsverlag EINS, 2017.

[21] *Vieweg Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik*. Wiesbaden: Vieweg, 2004.

[22] Ganther Griff, *Technischer Anhang: Festigkeitsberechnung von Rastbolzen / Rastriegel*. für die Belastungsfälle Scherung / Biegung des Raststiftes. [Online] Available: https://www.ganternorm.com/uploads/tx_rldownloadlist/rastbolzen_festigkeit_02.pdf.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reihenbestuhlung Ausführung Cantilever (Quelle: Bombardier Transportation) 3
Abbildung 2: Visavis-Bestuhlung Ausführung Sitzgruppen (Quelle: Bombardier Transportation) 3
Abbildung 3: BT-Leichtbausitz mit Polstervarianten und Haltegriff (Quelle: Bombardier Transportation) 5
Abbildung 4: BT-Leichtbausitz Aufbau (Quelle: Bombardier Transportation) 5
Abbildung 5: BT-Sitz Explosionsdarstellung 6
Abbildung 6: Designbild Projekt Duisburg (Quelle: Bombardier Transportation) 7
Abbildung 7: Neuheitsgrad aus der Sicht Markt / Unternehmen [9] 10
Abbildung 8: Produktentstehungs- und -verfolgungsprozess unter Simultaneous Engineering [11] 11
Abbildung 9: Hauptarbeitsschritte des Produktentwicklungsprozesses [11] 13
Abbildung 10: Hauptarbeitsschritte zur Erstellung einer Anforderungsliste [11] 14
Abbildung 11: Hauptmerkmalliste [11] 15
Abbildung 12: Allgemeiner Aufbau eines Ordnungsschemas [8] 17
Abbildung 13: Überblick und Klassifizierung etablierter Bewertungsverfahren [11] ...19
Abbildung 14: Hauptarbeitsschritte beim Entwerfen [8] 21
Abbildung 15: Arbeitsschritte beim Ausarbeiten [8] 23
Abbildung 16: Topologisch kritische Bereiche Wgt 1 & Wgt 2 30
Abbildung 17: Beinahe-Kollision Ansicht 1 30
Abbildung 18: Beinahe-Kollision Draufsicht 31
Abbildung 19: Gesamtfunktion Sitzgruppe.....33
Abbildung 20: Funktionsstruktur Sitzgruppe 35
Abbildung 21: Wertigkeitsdiagramm ungewichtet 48
Abbildung 22: Wertigkeitsdiagramm gewichtet 49
Abbildung 23: Sitzgruppe Wgt 1 51
Abbildung 24: Sitzgruppe Wgt 3 51
Abbildung 25: Sitzschale 53
Abbildung 26: Sitzschale mit Nut für Verkleidung 53
Abbildung 27: Abschlusskappe roh 54
Abbildung 28: Abschlusskappe Wgt 1 55
Abbildung 29: Abschlusskappe Wgt 3 55
Abbildung 30: Abschlusskappe Wgt 1 verbaut Schnittansicht 56
Abbildung 31: Rahmen Wgt 3 Iso Ansicht 57
Abbildung 32: Rahmenkonstruktion Wgt 1.....59
Abbildung 33: Tragrahmen Wgt 1 59
Abbildung 34: Verschieberahmen Wgt 1 60

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildung 35: Verriegelung mittels konischen Rastbolzens 60
Abbildung 36: Verkleidung Wgt 1 61
Abbildung 37: Verkleidung Wgt 3 62
Abbildung 38: ReRo Tragrahmen Wgt 1 64
Abbildung 39: ReRo Rahmen Wgt 3 64
Abbildung 40: Lastfälle FEM Berechnung [19] 67
Abbildung 41: Ungünstigster Lastfall LC 3 [19] 67
Abbildung 42: Prototyp ISO Ansicht 69
Abbildung 43: Prototyp ausgefahrener Zustand 70
Abbildung 44: Prototyp ohne Sitzschalen und Abschlusskappe oben, mit Transportstreben 70
Abbildung 45: Skizze Auslegung Linearführungen Lastfall 1 & 2 77
Abbildung 46: Vorderansicht Auslegung Linearführungen 1 & 2 77

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

8 Formelverzeichnis

Formel 1: Theoretische Variantenanzahl 18
Formel 2: Führung B; Kräfte in Z-Richtung 76
Formel 3: Führung A; Kräfte in Z-Richtung 76
Formel 4: Führung A; Kräfte in X-Richtung 76
Formel 5: Biegemoment um die X-Achse 76
Formel 6: Maximallast auf die Verriegelung 78
Formel 7: Widerstandsmoment Rundstab [21] 78
Formel 8: Biegespannung [21] 78
Formel 9: Abscherspannung [21] 78
Formel 10: Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungshypothese [21] 78

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungsliste Teil 1 26
Tabelle 2: Anforderungsliste Teil 2 27
Tabelle 3: Anforderungsliste Teil 3 28
Tabelle 4: Anforderungsliste Teil 4 29
Tabelle 5: Ordnungsschema 1....36
Tabelle 6: Ordnungsschema 2....37
Tabelle 7: Ausgeschlossene Lösungen des morphologischen Kastens 39
Tabelle 8: Weiterverfolgte Lösungen des morphologischen Kastens 41
Tabelle 9: Konzeptvarianten 42
Tabelle 10: Kombinationsschema Wirkstruktur....43
Tabelle 11: Wertskala für Nutzwertanalyse nach VDI 2225....48
Tabelle 12: Nutzwertanalyse der vier Varianten 48
Tabelle 13: Werkstoffauswahl und mechanische Eigenschaften [20] 71
Tabelle 14: Abmessungen 75
Tabelle 15: Kräftevorgaben 75
Tabelle 16: Lastfälle 75
Tabelle 17: Ergebnisse Lasten Linearführung 76

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

10 Abkürzungsverzeichnis

LRV	Light Rail Vehicle
BT	Bombardier Transportation
bzw.	Beziehungsweise
BOStrab	Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung
U-Bahn	Untergrundbahn
LCC	Life Cycle Costs
PRM	People with reduced mobility
DVG	Duisburger Verkehrsgesellschaft AG
LF	Low Flor
Wgt	Wagenteil
PDR	Preliminary Design Review
DDR	Detailed Design Review
FEM	Finite Elemente Methode
vgl	vergleiche
PSS	Produkt- Service System
z.B.	zum Beispiel
usw.	Und so weiter
KRL A	Konstruktionsrichtlinie Teil A
TRD	Technical Requirement Documents
GFK	Glasfaser verstärkter Kunststoff
KRL B	Konstruktionsrichtlinie Teil B
z.B.	zum Beispiel
ca.	circa
RIM	Reaction Injection Moulding
RAM	Reliability Availability and Maintainability

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.