TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Optimierung eines Sandkastens für die Sandungseinheit eines Bremssystems

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 Institut für Konstruktionswissenschaften und technische Logistik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Karla A. Kröchert Ching

[redacted]

Wien, im März 2020

Karla A. Kröchert Ching

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

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

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 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 März 2020

Karla A. Kröchert Ching

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

Danksagung

Als erstes bedanke ich mich herzlich bei Dipl.-Ing. Dr. techn. Manfred Grafinger für die angenehme und reibungslose Betreuung der Diplomarbeit. Weiters bedanke ich mich bei dem Unternehmen KNORR- BREMSE GmbH, insbesondere bei Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg Krismanic, dafür, dass sie mir die Möglichkeit gegeben haben, diese Diplomarbeit in dem Bereich Entwicklung, Sandung und Wischer, zu absolvieren. Auch möchte ich mich bei den Ingenieuren Albert Schneider und Petar Colic für die sehr gute Betreuung bedanken. Ein besonderer Dank geht an meine Verlobte Mareen, meine besten Freunde Aleks, Tibor, Skendi, Raffael und Claudine, sowie Kimba und Truffle für die moralische Unterstützung.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit handelt von der Entwicklung und Konstruktion eines neuen Konzeptes für einen Sandkasten der Sandungseinheit eines Bremssystems. Es basiert auf der komplexen Geometrie eines bestimmten Sandkastens, produziert von der Firma Knorr-Bremse, für Honolulu Rail Transit in Honolulu, Hawaii. Der Sandkasten trägt den Namen „HONOLULU“ und besteht aus einer zusammengeschweißten Blechkonstruktion.

Diese Neuentwicklung hatte zwei Arten von Zielen: drei kurzfristige und drei langfristige Ziele. Vor allem wurde dabei auf die Reduktion der Kosten geachtet. Für die Optimierung sind zwei innovative Sandkästen modelliert worden: ALBI und COLI. Die neuen Konzepte mussten nicht nur diese Ziele erreichen, sondern sollten auch alle technischen Daten und Umgebungsbedingungen vom Honolulu-Sandkasten beinhalten. Dabei durfte sich die Geometrie nicht verändern. Alle drei Sandkästen sollten dieselbe Menge an Sand beinhalten.

Bei dem ersten Sandkasten, ALBI, befindet sich der innovative Teil im Korpus. Dieser besteht aus einer Winkelkonstruktion. Die Winkel wurden miteinander verschweißt und bilden so die Stützstruktur des Sandkastens. Um die Dichtung des Sandkastens zu gewährleisten, wurden Blechplatten an die Winkelkonstruktion genietet.

Der zweite Sandkasten, COLI, basiert auf dem Konzept des Hochbaus, insbesondere der Skelettbauweise. Nach diesem Konzept wurde das Gerüst gebaut, welches als Tragtruktur für den gesamten Sandkasten fungiert. Der Korpus ist hier eine leichte Konstruktion aus drei zusammengenieteten Blechplatten. Die Befestigung vom Korpus am Gerüst wurde ebenfalls durch Nieten hergestellt.

Die Festigkeitsanalysen sind als Modalanalyse nach EN 61373:2010 Bahnanwendungen – Betriebsmittel von Bahnfahrzeugen – Prüfungen für Schwingen und Schocken, zu definieren.

Der Sandkasten COLI hat durch seine leichte und einfache Konstruktion fünf von den sechs vorgelegten Zielen erreicht. Eine standardisierte Konstruktion zu erreichen, ist mit der Skelettbauweise, auf der COLI basiert, zum jetzigen Zeitpunkt jedoch nicht möglich. Daher wurde das Projekt von der Firma gestoppt.

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

Abstract

This master thesis deals with the development and construction of a new concept for a sandbox of the sanding unit of a brake system. It is based on the complex geometry of a specific sandbox, produced by Knorr-Bremse for Honolulu Rail Transit in Honolulu, Hawaii. The sandbox is called "HONOLULU" and consists of a welded sheet-metal construction.

This new development had two types of goals: three short-term and three long-term goals. The main focus was on reducing costs. Two innovative sandboxes were modelled for the optimization: ALBI and COLI. The new concepts not only had to achieve these goals, but also had to include all technical data and environmental conditions of the Honolulu sandbox. The geometry was not allowed to change. All three sandboxes should contain the same amount of sand.

The innovative part in the first sandbox ALBI is located on the body. This consists of an angle profile construction. The angle profiles were welded together to form the support structure of the sandbox. In order to guarantee the sealing of the sandbox, sheet metal plates were riveted to the angle profile construction.

The second sandbox COLI was based on the structural engineering concept, in particular skeleton construction. From this concept, the scaffolding was built, which acts as a supporting structure for the entire sandbox. The body is a light construction of three sheet-metal plates riveted together. The fixing of the body to the scaffolding was also made by rivets.

The strength analyses shall be defined as modal analysis according to IEC 61373:2010 Railway applications - Rolling stock equipment – Shock and vibration tests.

Thanks to its light and simple construction the sandbox COLI achieved five of the six goals presented. However, it is not possible to achieve a standardized construction using the structural engineering concept, which COLI is based on, at the present time. Therefore, the project was stopped by the company.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 3
1.1 Aufgabenstellung ... 5
1.2 Aufbau ... 5
2 Theoretische Grundlagen ... 7
2.1 Einführung in die Schienenbremstechnik ... 7
2.2 Die Sandungsanlage ... 8
2.2.1 Aufbau der Systemkomponenten eines Sandungssystems ... 9
2.2.2 Funktion und prinzipieller Aufbau einer Sandungsanlage ... 10
3 Der Sandkasten ... 13
3.1 Allgemein über Sandkästen in Bremssystemen ... 13
3.2 Aufbau und Komponenten des Sandkastens ... 14
3.3 Technische Merkmale ... 17
4 Honolulu-Sandkasten ... 18
4.1 Technische Daten ... 19
4.2 Aufbau und Konstruktion ... 20
4.3 Geometrie ... 24
4.4 Korpus ... 25
4.5 Weitere Bestandteile des Sandkastens ... 26
5 Erstes Konzept: Sandkasten ALBI ... 28
5.1 Korpus ... 29
5.2 Bodenplatte und große Konsole ... 32
5.3 Kompletter Sandkasten ... 34
5.4 Festigkeitsanalyse ... 37
5.4.1 Versuch 1 ... 37
5.4.1.1 Vernetzungseigenschaften ... 40
5.4.1.2 Modalanalyse ... 41

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4.1.3 Lastfälle 42
5.4.1.3.1 Verschiebung 43
5.4.1.3.2 Spannung 45
5.4.2 Versuch 2 47
5.4.2.1 Vernetzungseigenschaften 49
5.4.2.2 Modalanalyse 50
5.4.2.2.1 Verschiebung 51
5.4.2.2.2 Spannung 52
5.5 Winkelkonzept auf einem anderen Sandkasten PETI 54
5.5.1 Korpus 56
5.5.2 Bodenplatte 57
5.6 Probleme und Feststellungen 58
6 Zweites Konzept: Sandkasten COLI 60
6.1 Skelettbauweise 63
6.2 Das Gerüst 64
6.3 Korpus 67
6.4 Festigkeitsanalyse 68
6.4.1 Vernetzungseigenschaften 71
6.4.2 Modalanalyse 72
6.4.2.1 Verschiebung 74
6.4.2.2 Spannung 75
7 Vergleich der drei Konzepte 76
8 Zusammenfassung und Ausblick 78
9 Literaturverzeichnis 81
10 Abbildungsverzeichnis 83
11 Tabellenverzeichnis 86
12 Abkürzungsverzeichnis 87

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

1 Einleitung

Schienensysteme existieren schon seit dem 17. Jahrhundert. Sie wurden auf Grund der schlechten Fahreigenschaften von Pferdekutschen bei langen Reisen auf unebenen Oberflächen entwickelt. Schienenfahrzeuge sind eines der wichtigsten Massentransportmittel der heutigen Zeit. Man findet sie in verschiedenen Variationen je nach geografischer Lage: in der Stadt in Form von U-Bahnen und Straßenbahnen oder quer durch ganze Kontinente in Form von Hochgeschwindigkeitszügen. Somit sind sie eines der am meisten genutzten Verkehrsmittel und gelten auch als eines der sichersten. Das liegt auch daran, dass die Schienenverkehrsbranche, zumindest innerhalb der EU, sehr hohe Sicherheitsanforderungen besitzt. Bremsen zum Beispiel werden mehrmals geprüft, bevor sie schließlich am Fahrzeug montiert werden können.

Um ein Schienentransportmittel zum Stillstand zu bringen, ist die Nutzung einer enormen Kraft notwendig. Von Anfang an setzte man auf den Reibschluss zwischen Rad und Schiene, welcher eine Zug- oder Bremskraft ermöglicht. Diese Kraft ist das Produkt aus Radlast und Reibbeiwert. Als die Zugkräfte der Dampflokomotiven größer geworden sind, musste man von einer Triebachse zu zwei bzw. mehrfach gekuppelten Triebradsätzen wechseln. Die Reibung zwischen Rad und Schiene ist auch der Grund für die Bewegung eines Zuges. Wenn die Summe aller Fahrwiderstände kleiner als die durch Reibung erzeugte Kraft ist, kann der Zug bis zur Höchstgeschwindigkeit beschleunigen. Wenn die Zugkraft einen gewissen Betrag überschreitet, dann drehen die Triebräder durch und man kommt ins Schleudern, was bedeutet, dass die Räder in das Gebiet der Gleitreibung geraten. Die Gleitreibung ist aber geringer als die Haftreibung, daher dachte man lange Zeit, dass die größere Zugkraft zustande kommt, indem das Triebrad mit seiner Aufstandsfläche auf der Schiene „haftet“ und nicht gleitet, weshalb man lediglich zwischen dem „Gleitreibwert“ und einem „Haftwert“ unterschied. (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 10)

Um den Haftwert zu steigern, wird die Reibungskraft von Bremse auf Rad und von Rad auf Schiene erhöht. Die Reibungskraft zwischen Zug und Schiene hängt von zwei Faktoren ab: der Masse des Zuges und des Reibungskoeffizienten zwischen Schiene und Rad. Je kleiner der Reibungskoeffizient zwischen Zug und Schiene ist, desto langsamer kann man einen Zug zum Stillstand bringen oder beschleunigen.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Schon im Jahr 1875 wurde die Sandungsanlage für ein altbewährtes Gerät gehalten, die mit den geringsten Kosten die Schiene „griffiger“ macht. Bevor diese perfektioniert wurde, gab es viele Konstruktionen, welche die Anforderungen, den Sand trocken und frei von lehmigen Bestandteilen zu halten, nicht erreichten. Daher ist der Sandkasten entwickelt worden, um den Sand nicht nur zu lagern, sondern auch trocken zu halten. In Abb. 1 kann man einen Sandkasten am Dampfdom der Kessel betrachten. Der Sand wurde hier über handbetätigte Gestänge und Ventile in Rohre befördert, die vor den Rädern der Lokomotive endeten. (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 11)

Abbildung 1: Güterzuglokomotive BR25 (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 11)

Der Einfluss von Nässe und schmierenden Bestandteilen bleibt bis heute ein Problem. In der Praxis muss immer wieder festgestellt werden, dass die Verunreinigung der Schiene einen sehr großen Einfluss auf die Schleuder- und Gleitneigung der rollenden Räder hat (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 12). Aus diesem Grund hat sich in den letzten Jahren auch viel an der Weiterentwicklung von Sandungsanlagen getan. Im Prinzip muss sie den Sand bei Brems- und Beschleunigungsvorgängen zwischen Schiene und Rad befördern, um den Reibungskoeffizienten zu erhöhen. Dies wird durch die Grobkörnigkeit des Sandes erzielt, gleichzeitig wird dadurch der Schlupf vermindert. Die Sandungsanlage ist auf Grund ihrer Wichtigkeit für ein sicheres Bremsverfahren sogar eine gesetzlich vorgeschriebene Komponente geworden.

Die Firma Knorr-Bremse ist eines der weltführenden Unternehmen bei der Produktion von Sandungsanlagen und Sandungskomponenten. Unter den Sandungskomponenten befindet sich auch der Sandkasten. Die Entwicklung eines

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Sandkastens ist ebenfalls von großer Bedeutung, da ohne ihn die Sandungsanlage nicht fehlerfrei funktionieren kann.

Ein Sandkasten muss eine hohe Festigkeit nachweisen können, da er nicht nur das Gewicht des Sandes aushalten muss, sondern auch die Kräfte, die mit den hohen Fahrgeschwindigkeiten der Hochgeschwindigkeitszüge entstehen und auf den Sandkasten ausgeübt werden.

1.1 Aufgabenstellung

Die folgende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung und Konstruktion eines neuen Konzeptes von einem bereits existierenden Sandkasten. Der Original-Sandkasten wurde für Honolulu Rail Transit in Honolulu, Hawaii, gebaut. Dieser Sandkasten wurde auf Grund der komplexen Geometrie ausgewählt. Daher dürfen alle neuen Konzepte die Geometrie und die Anbindungspunkte nicht verändern. Diese Arbeit hat zwei Arten von Zielen:

Kurzfristige Ziele:

- Standardisierte Konstruktion für Sandkästen
- Gewichtsreduzierung
- Zeitersparung bei der Konstruktion

Langfristige Ziele:

- Innovation
- Preissenkung vom Produkt
- Senkung der Komplexität
- Senkung der Periodendauer in der Produktentstehung

Basierend auf diesen Zielen wurden alle Konzepte erstellt.

1.2 Aufbau

In Kapitel 2 werden die theoretischen Grundlagen der Schienenbremstechnik erklärt. Kapitel 2.1 wird eine kurze Einführung in die verschiedenen Arten von Bremsen geben

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

und in Kapitel 2.2 wird die Sandungsanlage erläutert. Der Aufbau und die Funktionen werden in Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 dargestellt. Diese sind für das Verständnis der weiteren Kapitel notwendig.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit dem prinzipiellen Aufbau eines standardisierten Sandkastens der Firma Knorr-Bremse. Nachdem im Kapitel 3.1 allgemein das Konzept der Sandkästen erläutert wurde, werden in Kapitel 3.2 der Aufbau des standardisierten Sandkastens und der dazugehörigen Komponenten dargestellt. In Kapitel 3.3 werden die technischen Daten jedes Sandkastens der Firma Knorr-Bremse kurz beschrieben.

In Kapitel 4 wird der Sandkasten Honolulu, auf dem diese Arbeit basiert, vorgestellt. Insbesondere sind seine technischen Daten in Kapitel 4.1, sein Aufbau in Kapitel 4.2, seine Geometrie in Kapitel 4.3 und sein Korpus in Kapitel 4.4 von großer Bedeutung, da die nachkommenden Konzepte, in den Kapiteln 5 und 6 erläutert, zum großen Teil dieselben Daten aufweisen müssen. Kapitel 4.5 zeigt weitere Bestandteile des Sandkastens.

Das erste Konzept „ALBI“ wird in Kapitel 5 dargestellt. Zuerst wird in Kapitel 5.1 der Korpus, und infolge in Kapitel 5.2 die Bodenplatte und die große Konsole beschrieben. Kapitel 5.3 zeigt, wie der komplette Sandkasten zusammengebaut ist. Um die Festigkeit zu überprüfen, wurde in Kapitel 5.4 die Festigkeitsanalyse protokolliert. Zuerst wurde nur die Winkelkonstruktion überprüft (in Kapitel 5.4.1) und danach sind die Blechplatten in Kapitel 5.4.2. eingefügt und überprüft worden. Dieses Konzept wurde danach in Kapitel 5.5 an einem anderen Sandkasten „PETI“ ausprobiert. Der Korpus ist in Kapitel 5.5.1 dargestellt und die Bodenplatte in Kapitel 5.5.2. In Kapitel 5.6 werden die entstandenen Probleme und Feststellungen erläutert.

Das zweite Konzept „COLI“ findet man in Kapitel 6. Kapitel 6.1 erklärt die Skelettbauweise. In Kapitel 6.2 wird dieses Konzept auf den Sandkasten COLI in Form des Gerüsts umgesetzt. Der Aufbau des Korpus wird in Kapitel 6.3 erklärt. Die Festigkeitsanalyse wird dann im Kapitel 6.4 protokolliert. Kapitel 6.4.1 stellt die Modalanalyse dar, aufgeteilt in Verschiebung (6.4.1.1) und Spannung (6.4.1.2). Zuletzt werden in Kapitel 7 alle drei Konzepte verglichen. Abschließend befindet sich in Kapitel 8 die Zusammenfassung der 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.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

2 Theoretische Grundlagen

Die Basis für jeden Bremsvorgang sind die Regeln der Physik. Für optimale Funktionen muss man deren Gesetze und Grenzen respektieren und befolgen. Daher sind für ein besseres Verständnis von Bremssystemen einige Grundlagen und Begriffe wichtig, denen dieses Kapitel gewidmet ist. (Gfatter, Berger, Krause, & Vohla, 2002, S. 16)

2.1 Einführung in die Schienenbremstechnik

Bremsen von Schienenfahrzeugen haben hauptsächlich folgende Aufgaben (Gfatter, Berger, Krause, & Vohla, 2002, S. 16):

- Die kinetische Energie von sich in Bewegung befindlichen Fahrzeugen teilweise oder völlig in andere Energieformen umzuwandeln, um die Geschwindigkeit, gegebenenfalls bis zum Stillstand, zu verringern.
- Gegen die auf Gefällestrecken von der Gewichtskraft herrührende Kraftkomponente zu wirken, um die Fahrgeschwindigkeit konstant zu halten.
- Stillstehende Fahrzeuge und Züge gegen Wegrollen im Gefälle oder infolge Windeinwirkung zu sichern.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, ist der Einfluss einer Kraft notwendig. Die Zugbildung und die Fahrplangestaltung werden von der Ausrüstung der Bremsen an den Fahrzeugen abhängig gemacht. Das bedeutet, dass jeder Zug mit funktionsfähigen Bremsen ausgestattet sein muss, damit er mit höchster Sicherheit, bei stärkstem Gefälle auf der zu befahrenden Strecke mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit innerhalb des Vorsignalabstandes zum Stillstand gebracht und festgehalten werden kann. (Gfatter, Berger, Krause, & Vohla, 2002, S. 16)

Es gibt zwei verschiedene Arten von Bremssystemen (siehe Abb. 2):

1. Kraftschlussabhängige Bremsen
2. Kraftschlussunabhängige Bremsen

Die „kraftschlussabhängigen Bremsen“ werden in radwirksame Reibungsbremsen und dynamische Bremsen unterteilt, die Bremsmomente auf die Radsätze aufbringen. Diese Bremsmomente entstehen durch die Übertragung von Bremskräften an den Rädern, die sich über die Kontaktpunkte zwischen Rädern und Schiene bilden. Die

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

Reibungsbremsen sind verschleißbehaftet, die dynamischen Bremsen hingegen arbeiten verschleißfrei. Da sich diese Diplomarbeit nur mit verschleißbehafteten Bremsen befasst, wird auf die verschleißfreien Bremsen nicht weiter eingegangen.

Die „kraftschlussunabhängigen Bremsen“ sind Bremsen, die entweder direkt auf die Schiene unter Umgehung des Kontaktpunktes Rad/Schiene eine gegen die Fahrtrichtung eingesetzte Bremskraft ausüben oder auf andere Art und Weise eine Bremskraft erzeugen. (Gfatter, Berger, Krause, & Vohla, 2002, S. 17)

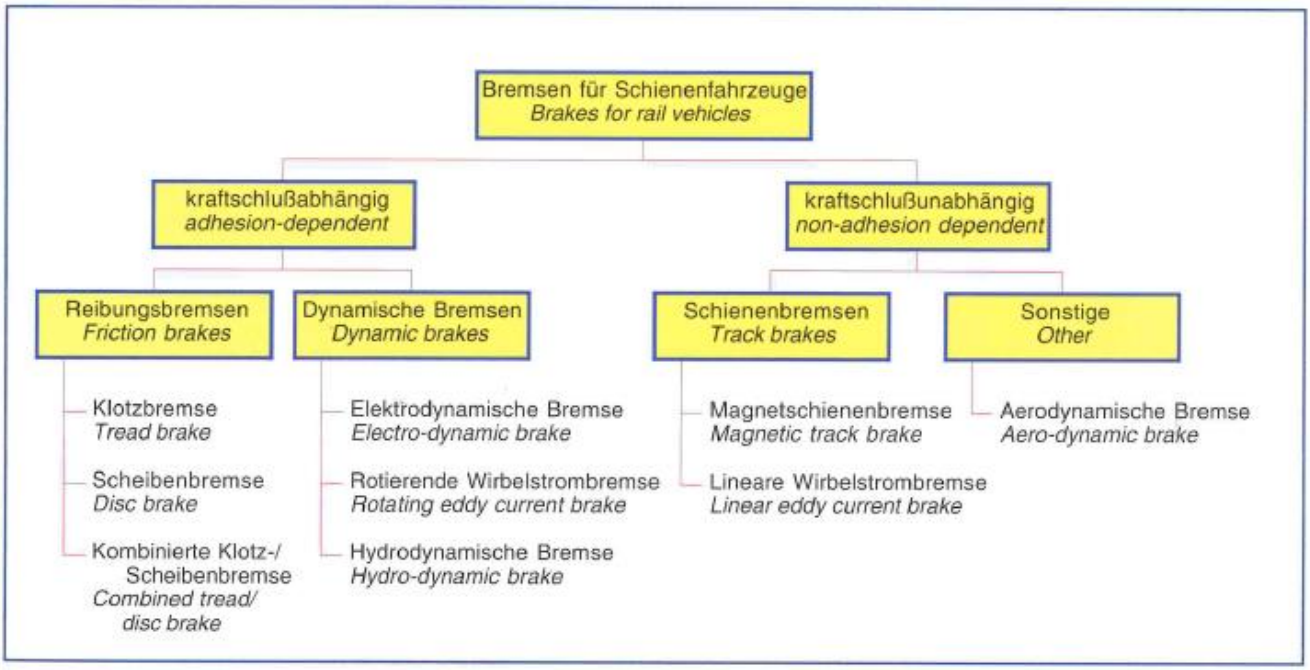


Abbildung 2: Einteilung der Bremse für Schienenfahrzeuge (Gfatter, Berger, Krause, & Vohla, 2002, S. 17)

2.2 Die Sandungsanlage

Sandungsanlagen sollen in Triebfahrzeugen und Fahrzeugen verwendet werden, die für das Führen von Zügen vorgesehen sind. Zu diesen zählen Lokomotiven für Güter und Reisezüge, Rangier- und Kleinlokomotiven, Trieb- und Steuerwagen, Straßenbahnen, U-Bahnen, Nahverkehrsfahrzeuge, Nebenfahrzeuge und Bahndiensttriebwagen. (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 19)

Die Sandungsanlage dient dazu, den Kraftschluss zwischen Rad und Schiene zu erhöhen. Dies ist nötig um die hohen Traktionskräfte am Radumfang auch bei Feuchtigkeit und Laubbefall im Herbst auf die Schiene zu bringen. Der Sand wird mit Hilfe von Druckluft aus dem Sandkasten herausgeblasen und zwischen Rad und Schiene befördert. (Gfatter, Berger, Krause, & Vohla, 2002, S. 52)

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 Steuerung der Sandungsanlage kann automatisch, zusammen mit einer Notbremsung, oder manuell, über den Triebfahrzeugführer, erfolgen. Die Funktion und die Menge, die gefördert werden muss, hängen von der Sandqualität (Korngröße, Kornform und Staubanteil) ab. Daher muss die Sandqualität zu Anfang festgelegt und eingehalten werden. (Gfatter, Berger, Krause, & Vohla, 2002, S. 177f.)

Es gibt zwei Prinzipien, nach denen man Sandungsanlagen unterscheidet (Gfatter, Berger, Krause, & Vohla, 2002, S. 178):

- Überdruckprinzip: es besteht eine niedrige Sandgeschwindigkeit, verbunden mit einem sehr hohen Streuwirkungsgrad und geringem Verschleiß.
- Unterdruckprinzip: die Sandgeschwindigkeit ist relativ hoch und der Sand erreicht in geringer Zeit den Berührpunkt zwischen Rad und Schiene.

2.2.1 **Aufbau der Systemkomponenten eines Sandungssystems**

In Abb. 4 kann man den kompletten Aufbau mit Komponenten eines Sandungssystems betrachten. Der Sand wird durch den Sandkastendeckel mit Überdrucksicherung in den druckdichten Sandkasten hineingefüllt. Nach Einschalten der Sandungseinrichtung (Sandungsanlage) wird, wie in Abb. 3 zu sehen ist, der Sand mit Hilfe von Druckluft durch den Sandschlauch, über eine Sandrohrheizung, in den Berührpunkt zwischen Rad und Schiene gefördert. Eine Sandrohrheizung ist in einer Sandungseinheit erforderlich, da diese das Einfrieren bzw. Nässe des Sandes verhindert. Dadurch wird die sichere Funktion des Sandungssystems über das gesamte Jahr hinweg garantiert. (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 14ff.)

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

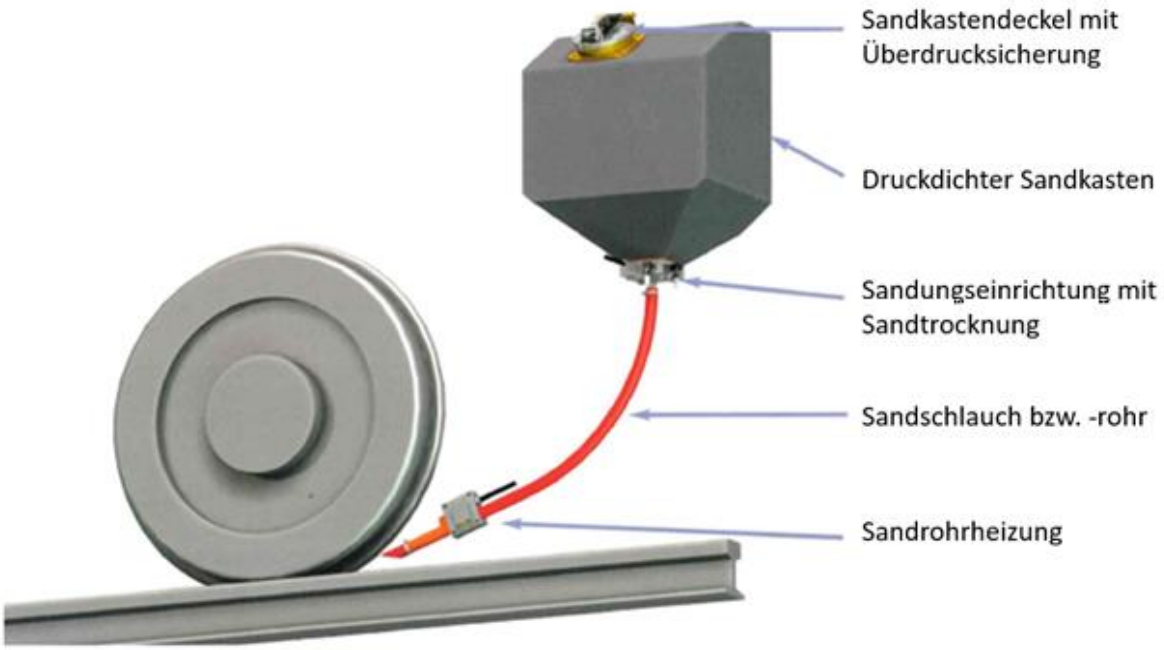


Abbildung 3: Sandungssystem (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 17)

2.2.2 **Funktion und prinzipieller Aufbau einer Sandungsanlage**

Wie weiter oben erwähnt wurde, gibt es zwei Prinzipien, die man in Sandungsanlagen unterscheidet. In Abb. 4 sieht man eine schematische Darstellung beider Prinzipien (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 35ff.):

a) Das Sanden beim Überdruckprinzip: Der Luftanschluss **P1** wird mit Druckluft beaufschlagt. Die Düse **ds** ist für die Regelung des Luftstromes, der über die Sinterplatte (**8**) in den Sandkasten (**SK**) geströmt wird, verantwortlich. Dazu kommt es im Sandkasten zu einer Fluidisierung des Sandes. Im Sandkasten teilt sich der Luftstrom in den Abluftstrom **1)** und in den Dosierluftstrom **2)**. Der Abluftstrom wird durch die Abluftleitung (**5**) und die Düse **dA** in das Gehäuse zurückgeblasen. Der Dosierluftstrom strömt mit einer Sand/Luftstrom (**3**)-Mischung von der Sinterplatte in die Sandglocke **Sg**. Diese Mischung wird dann durch das Sandrohr (**SR**) befördert.

Legende:

5	Abluftleitung	**SK**	Sandkasten
8	Sinterplatte	**h..**	Sandfüllhöhe
32	Heizpatrone	**Ag**	Abluftglocke

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

Sg	Sandglocke	**P2**	pneum. Anschl. Trocknung
SKD	Sandkastendeckel	**SR**	Sandrohr
dA	Abluftdüse	**1)**	Abluftstrom
ds	Sandungsdüse	**2)**	Dosierluftstrom
dH	Trocknungsdüse	**3)**	Sand/Luftstrom
P1	pneum. Anschl. Sanden		

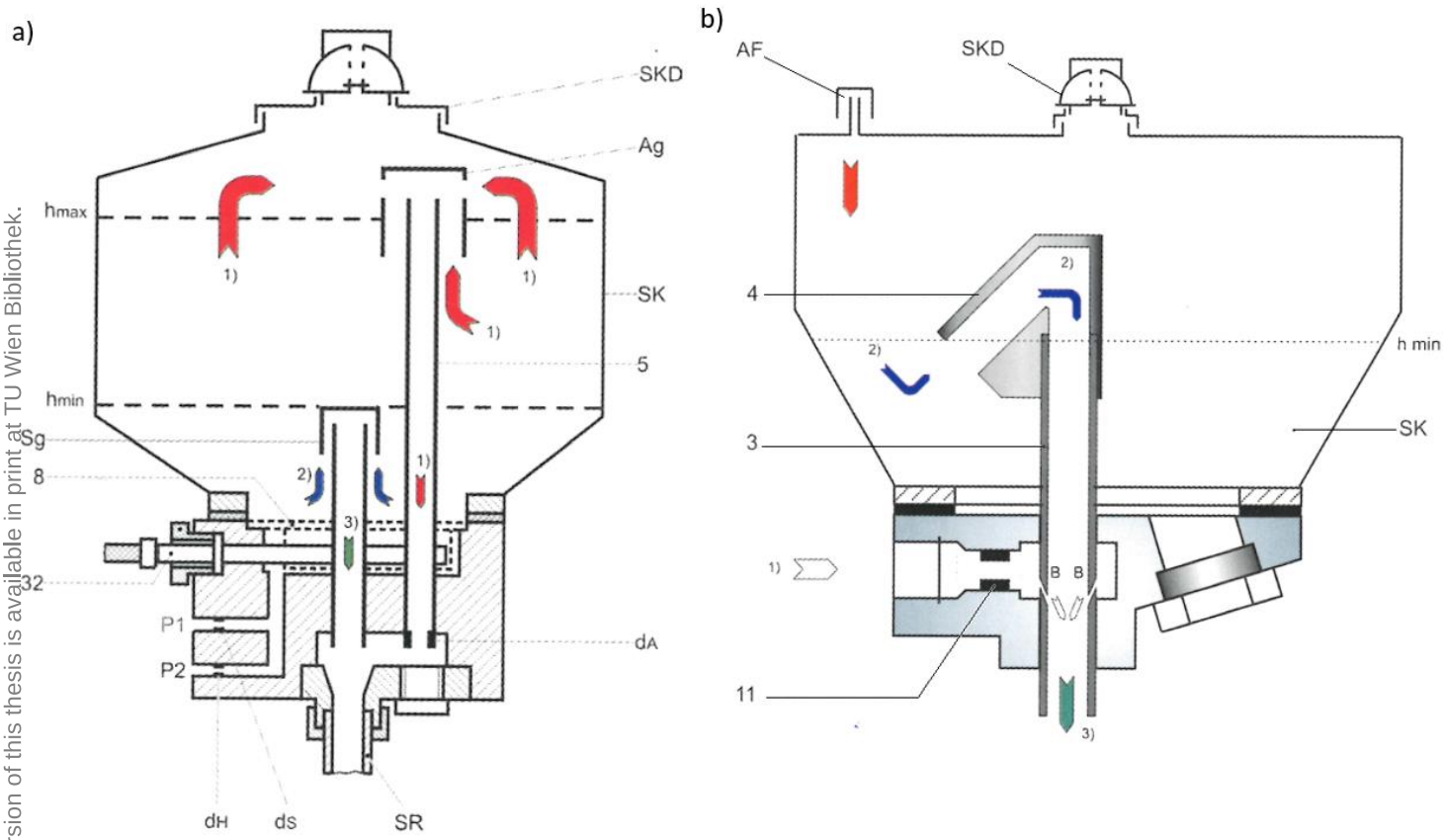


Abbildung 4: Sandungsprinzipien a) Überdruckprinzip (links) b) Unterdruckprinzip (rechts) (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 35,54)

b) Das Sanden beim Unterdruckprinzip: Der Luftstrom **1)** strömt durch die Düse (**11**) und durch die schrägen Bohrungen (**B**) in das Saugrohr (**3**). Im Sandkasten (**SK**) entsteht über dem Saugstutzen (**4**) ein Unterdruck. Durch den Ansaugfilter (**AF**) wird Luft in den Sandkasten gesaugt, diese wird zusammen mit Sand in dem Saugrohr angesaugt und so beschleunigt, dass die Mischung mit hoher Geschwindigkeit auf die Schiene geblasen 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

Legende:

3	Saugrohr	**h**	Sandfüllhöhe
4	Saugstutzen	**AF**	Ansaugfilter (min. Q. 130 mm^2)
11	Düse	**1)**	Luftstrom
B	Bohrungen	**2)**	Sandstrom
SK	Sandkasten	**3)**	Sand-Luftgemisch
SKD	Sandkastendeckel		

In Abb. 5 sieht man die verschiedenen Teile, die eine Sandungsanlage vom Typ SDN14-1 besitzt. Diese funktioniert mit Hilfe des Überdruckprinzips:

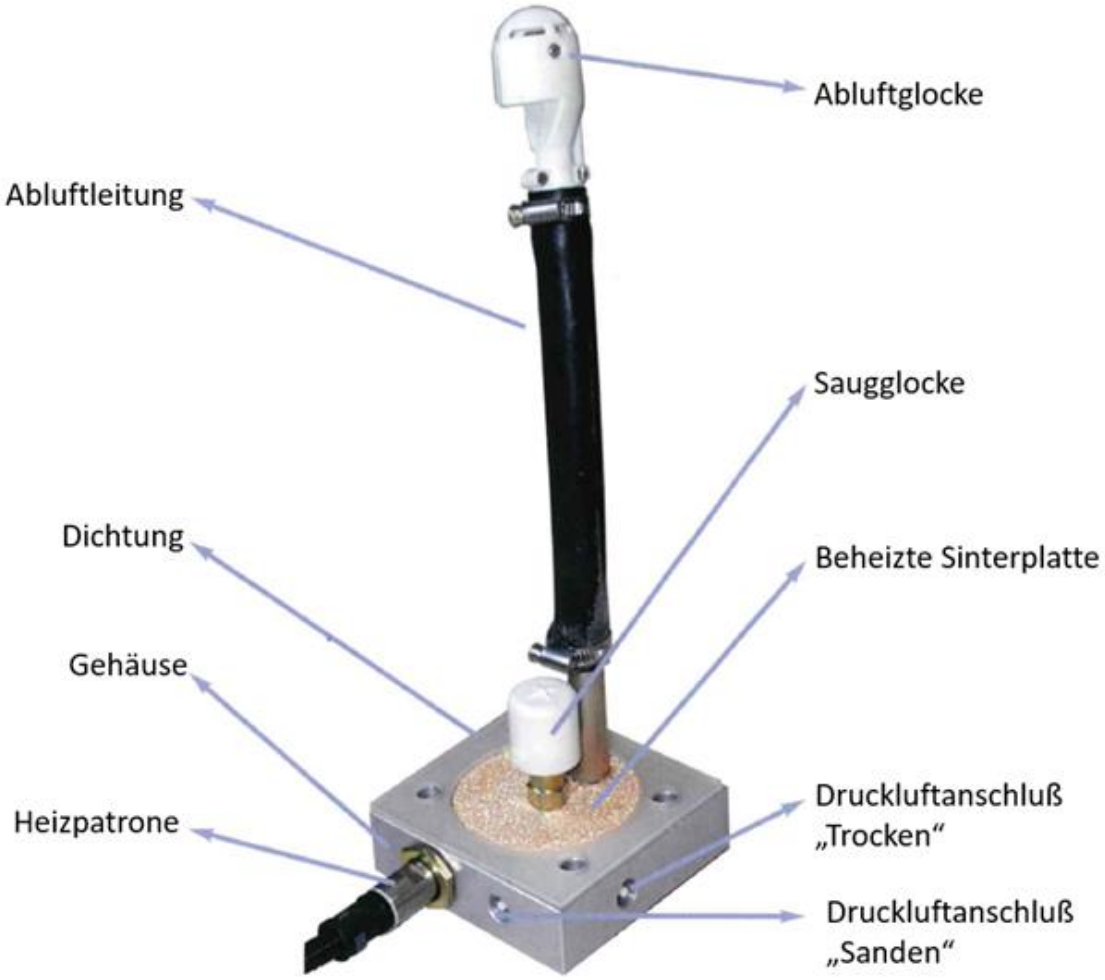


Abbildung 5: Sandungsanlage vom Typ SDN14-1 (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 34)

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3 Der Sandkasten

In Kapitel 2 wurden die Wichtigkeit und Funktionen einer Sandungsanlage vorgestellt. Diese kann aber nur komplett funktionsfähig sein, wenn ein gut funktionierender Sandkasten vorhanden ist (siehe Punkt 2.2.2). Die Form und Größe des Sandkastens werden von den Anforderungen und dem verfügbaren Platz des Fahrzeugs bestimmt.

3.1 Allgemein über Sandkästen in Bremssystemen

- Der Sandkasten:

In Abb. 5 ist der Aufbau einer pneumatischen Sandungsanlage inklusive der Kennzeichnung der wichtigsten Systemkomponenten dargestellt. Der Sand wird in einem Sandkasten gelagert. Dieser muss bei einer rein pneumatischen Förderung des Sandes druckdicht sein, da ein geschlossenes Drucksystem vorherrschen muss. (Krismanic, 2013)

Der Sandkasten hat üblicherweise einen Sandkastendeckel mit Überdrucksicherung. Hier kann frischer Sand eingefüllt werden. Unten ist eine Öffnung, an die die Sandungseinrichtung angeflanscht werden kann. Der Sandkasten ist üblicherweise nach unten hin abgeschrägt. Diese Schrägung wird idealerweise so gewählt, dass der gesamte Sand ausgebracht wird. Dazu muss der Schüttwinkel des Sandes überwunden werden. (Krismanic, 2013)

„Der Sandkasten ist Bestandteil der Sandstreueinrichtung, diese dient der Erhöhung der Haftreibung zwischen Rad und Schiene beim Anfahren und Bremsen.“ (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 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.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.2 Aufbau und Komponenten des Sandkastens

Für die Darstellung und Erklärung des Aufbaus wurde ein zusammengeschweißter Sandkasten ausgewählt, da dieser bis dato die kostengünstigste Variante und daher die am meisten angefertigte Konstruktion darstellt.

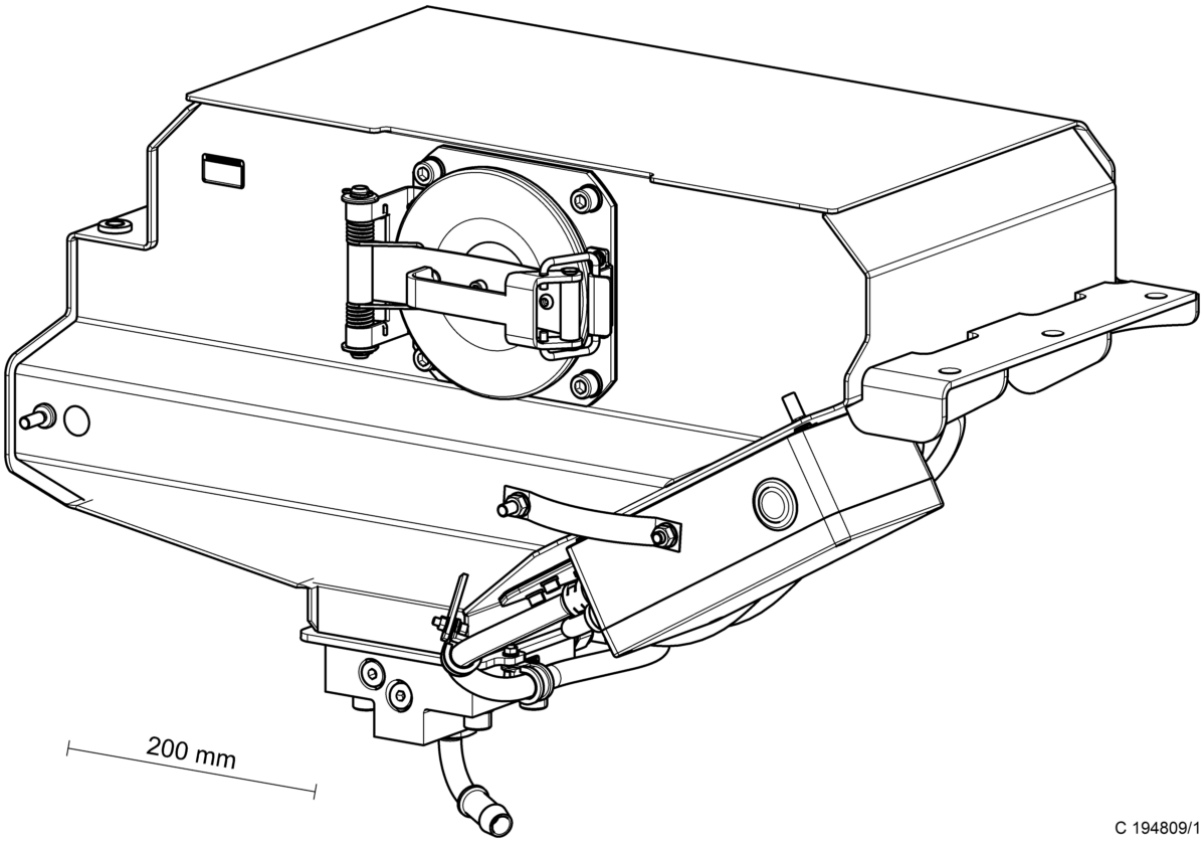


Abbildung 6: Sandkasten (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 11)

Der Sandkasten besteht aus folgenden Baugruppen (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 12ff):

- Dem Sandkasten (**A**)
- Der Sandungsanlage (**B**)
- Der Konsole (**F**)
- Dem Klemmkasten (**G**)
- Dem Sanddeckel (**H**)

Alle Baugruppen sind funktionell im Sandkasten zusammengefasst.

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 pneumatische Verbindung zwischen Gerät und fahrzeugseitigem Druckluftsystem wird über Rohrleitungen hergestellt.“ (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 12)

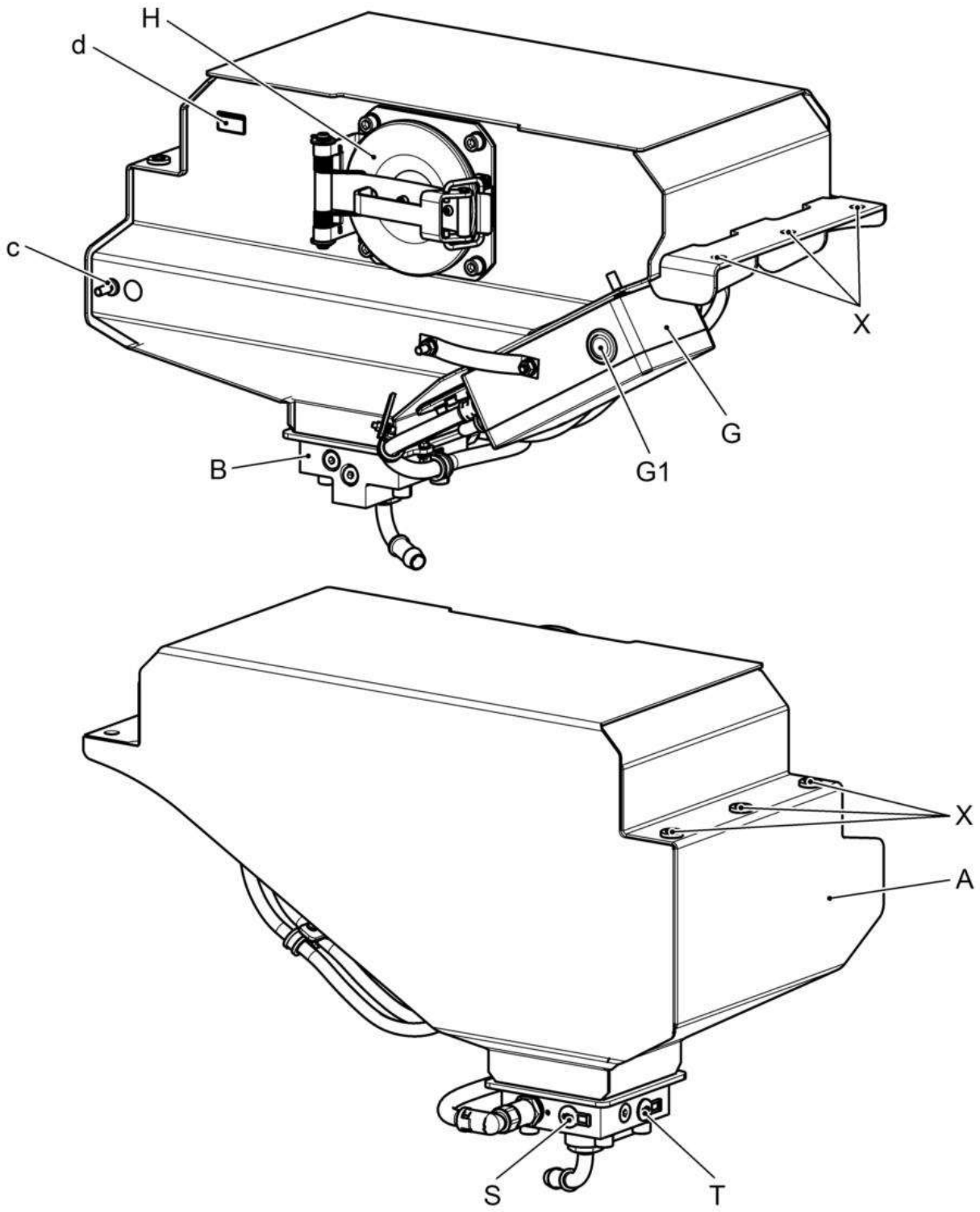


Abbildung 7: Sandkasten mit Komponenten (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 14)

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

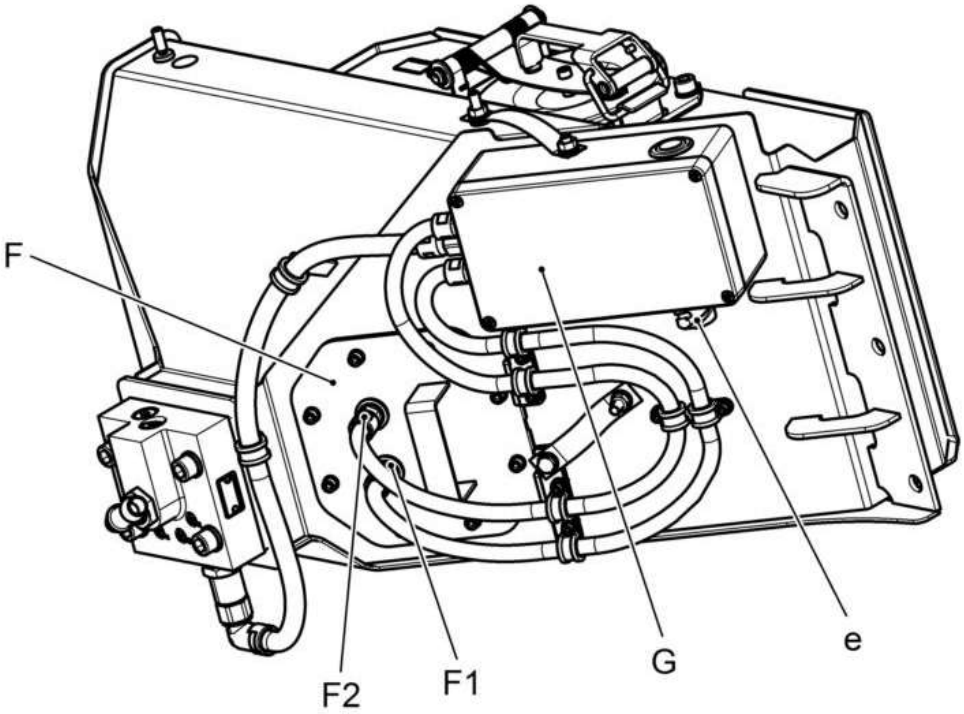


Abbildung 8: Sandkasten mit Komponenten (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 14)

Komponentenbestandteile (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 15):

A	Sandkasten
B	Sandungsanlage
F	Konsole
F1 und **F2**	Sandstandsensor
G	Klemmkasten
G1	Drucktaster
H	Sandkastendeckel
X	Befestigungsbohrung
c	Erdungsanschluss
d	Typenschild
e	Übergabestecker

Druckluftanschlüsse:

S	Druckluftanschluss Sandung

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

T Druckluftanschluss Trocknung / Ausblasen

Sandkasten (A) (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 13)**:**

Der Sandkasten ist eine geschweißte Metallkonstruktion, deren Volumen variantenabhängig ausgeführt ist.

Sandungsanlage (B) (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 13)**:**

Die Sandungsanlage dient der pneumatisch gesteuerten Förderung des Sandes aus dem Sandkasten.

Konsole (F) (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 13)**:**

Die Sandstandsensoren **(F1 und F2)** sind in der Konsole eingebaut und dienen der Füllstandsüberwachung des Sandkastens. Ein Ausbau der Konsole bzw. ein Austausch der Sandstandsensoren ist auch ohne einen kompletten Ausbau des Sandkastens möglich.

Klemmkasten (G) (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 13)**:**

Der Drucktaster **(G1)** ist am Klemmkasten angebaut und dient der Funktionsprüfung des Gerätes. Die elektrische Verbindung zwischen Fahrzeug und Gerät erfolgt über den Übergabestecker des Klemmkastens.

Sandkastendeckel (H) (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 13)**:**

Der Sandkastendeckel dient dem Verschluss des Sandkastens und der Gewährleistung der für den Betrieb erforderlichen Druckverhältnisse im Sandkasten.

3.3 Technische Merkmale

Ein optimaler Sandkasten sollte mindestens folgende Merkmale aufweisen (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 12):

- Einfacher Aufbau
- Kompakte Anordnung aller Funktionsbaugruppen am Gerät
- Schnelle Austauschbarkeit des Gerätes
- Schnelle Fehleridentifikation, da alle Funktionen in dem Gerät vereinigt 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.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4 Honolulu-Sandkasten

In diesem Kapitel wird der Honolulu-Sandkasten präsentiert. Da das Ziel des Projektes ist, diesen zu optimieren, müssen zuerst der Aufbau und die verschiedenen Komponenten dieses Sandkastens erklärt werden.

Der Honolulu-Sandkasten wurde, wie der Name schon verrät, für einen Hochgeschwindigkeitszug des Honolulu Rail Transit in Honolulu, Hawaii, gebaut. Dieser besteht aus einer zusammengeschweißten Blechkonstruktion. (Knorr-Bremse, SDN31.1 Sandkasten, 2017)

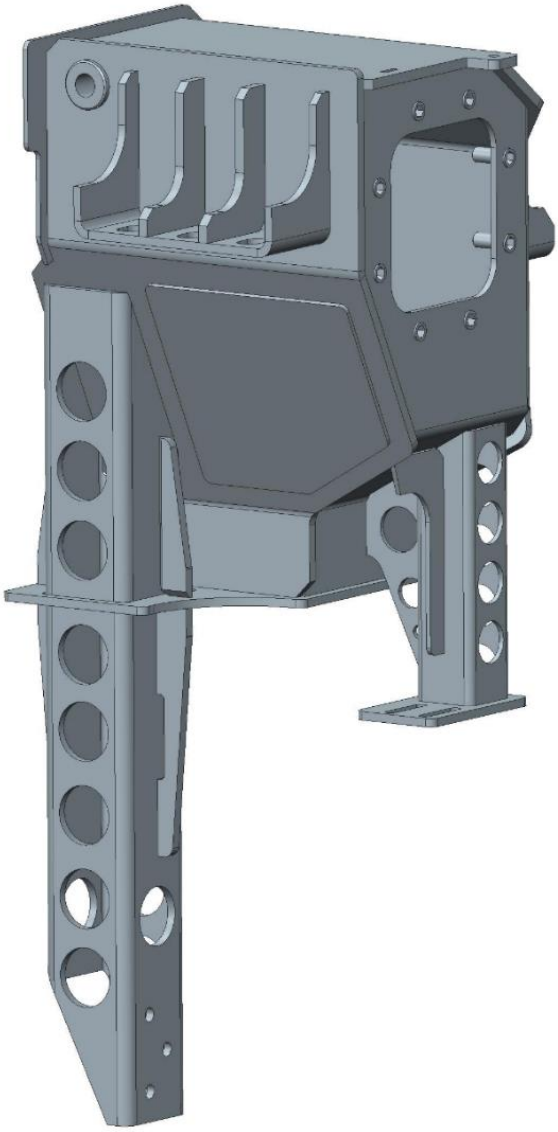


Abbildung 9: Sandkasten Honolulu

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4.1 Technische Daten

Technische Daten: (Knorr-Bremse, SDN31.1 Sandkasten, 2017)

Beschreibung	Wert	Bemerkung
Befüllvolumen	12,7 kg	gemessen (entspricht 8,5 L)
Nutzvolumen	12,3 kg	gemessen (entspricht 8,2 L)
Restvolumen	0,36 kg	gemessen (entspricht 0,24 L)
Blechwerkstoff des Sandkastens	Edelstahl	-
Sandungseinheit	SDN31.1	-
Nominelle Sandmenge	500 g/ 30 s	bei DBS918224:2014 Sand
Nomineller Versorgungsdruck	5 bar	am Anschluss „P“
Prüfdruck „P1“	3,7 bar	Entspricht nomineller Sandmenge
Sandstandsensor	-	Versorgungsspannung: 24…110VDC
Sandkastendeckel	-	-
Empfohlene Sandqualität	DB-Sand	nach DBS918224:2014
Zentraler Erdungspunkt	-	-

Tabelle 1: Technische Daten Honolulu-Sandkasten

Umgebungsbedingungen: (Knorr-Bremse, SDN31.1 Sandkasten, 2017)

Beschreibung / Description	Wert / Value	Bemerkung / Remarks
Umgebungstemperaturbereich	25°C…+40°C	Klasse T1 nach EN 50125-1 (2014)
Schock und Vibration	Kat. 2	nach EN 61373:2010
Spezielle Anforderungen an den Einbauort	Ja	bei zu erwartender Steinschlaggefahr ist die Einheit fahrzeugseitig dagegen zu schützen

Tabelle 2: Umgebungsbedingungen vom Honolulu-Sandkasten

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4.2 Aufbau und Konstruktion

Die Optimierungsversionen, basierend auf dem Sandkasten Honolulu, müssen dieselben technischen Daten aufweisen, die in Tabelle 1 und 2 aufgelistet sind. Die einzige Ausnahme ist das Gewicht des Sandkastens, da ein Ziel auch die Reduzierung des Gewichtes ist.

Abb. 9 zeigt den Sandkasten (als Blechkonstruktion) mit beiden Konsolen und integrierten Blindnietmuttern. Abb. 10 und 11 zeigen den kompletten Sandkasten inkl. aller nötigen Sandungskomponenten.

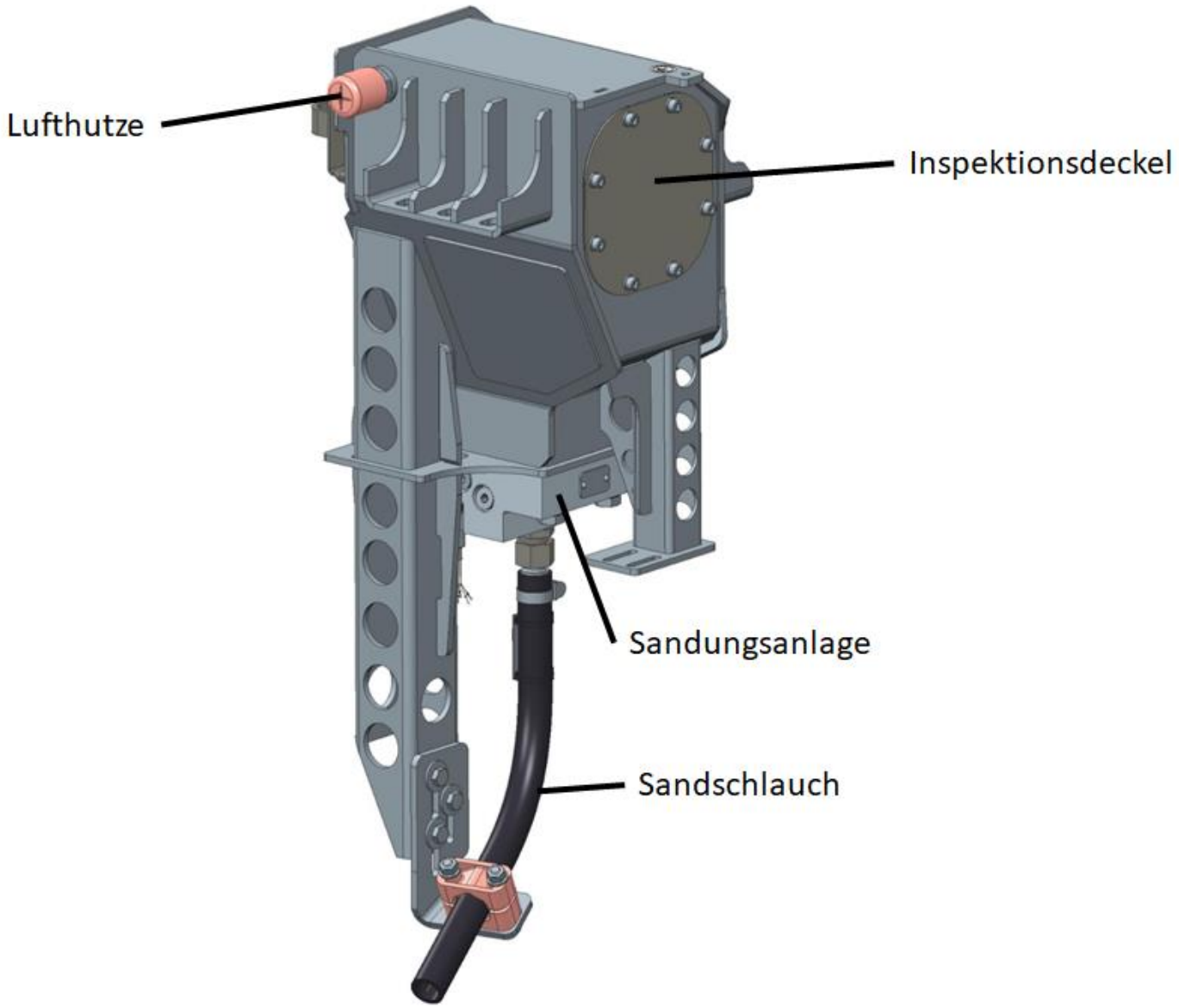


Abbildung 10: Sandkasten Honolulu mit sämtlichen Komponenten. Ansicht vorne/rechts

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

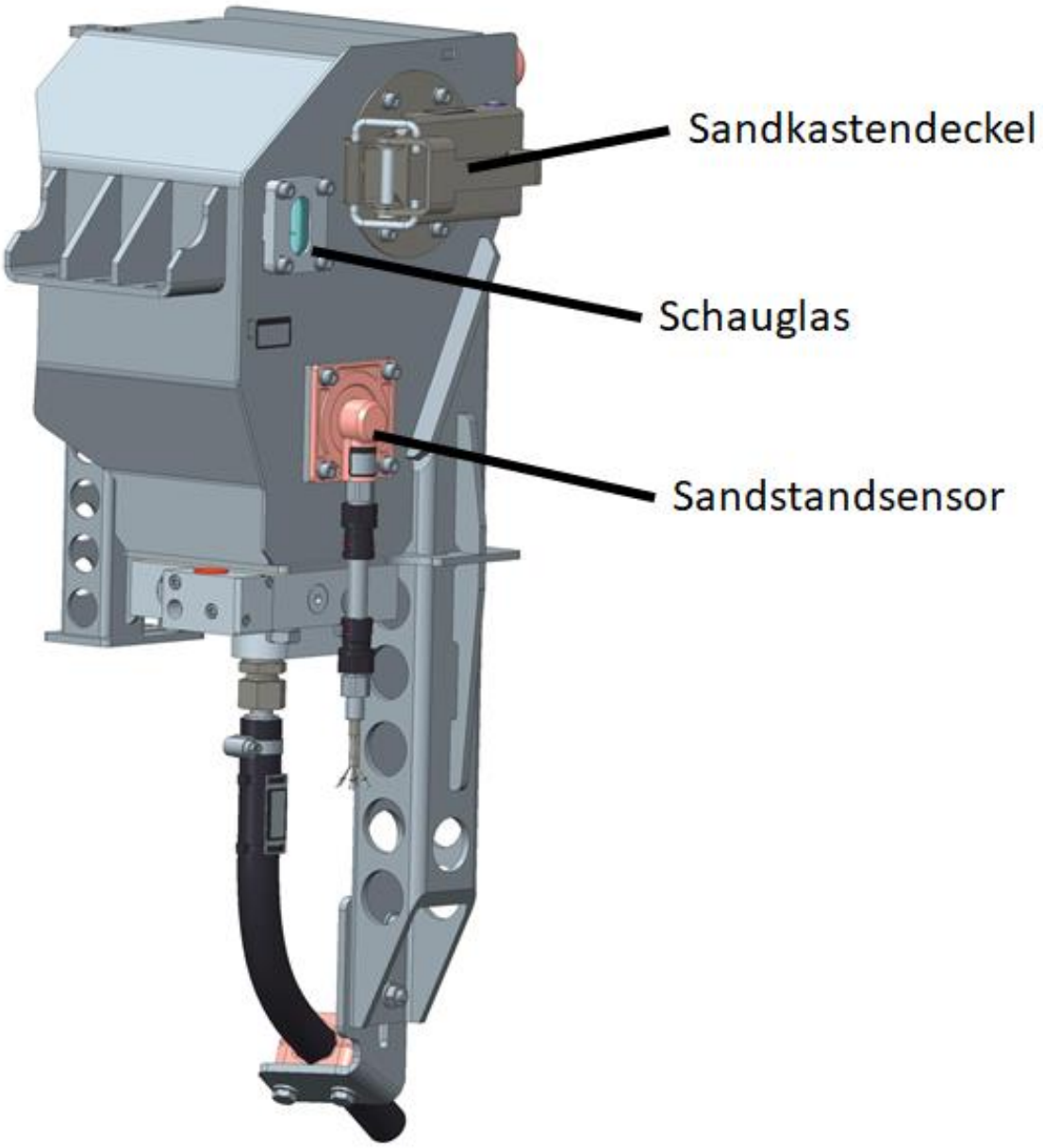


Abbildung 11: Sandkasten Honolulu mit sämtlichen Komponenten. Ansicht hinten/links

Der gesamte Sandkasten besteht aus dem Korpus, der wiederum aus 5 Blechplatten besteht, der Bodenplatte für die Sandungsanlage und 2 Konsolen. Alle Bestandteile wurden mit Kehlnähten, einer V-Naht, einer HY-Naht, einer Ecknaht und Lochnähten nach DIN EN 15085 – 3 miteinander verschweißt. Die dazu verwendeten Schweißnähte besitzen die Form: a2, a3, a4, h4 und z4. Die Kehlnähte der Form a2 und a3 sind ungeschliffen und gebeizt passiviert. Die V-Naht, die Y-Naht und die Ecknaht sind ebenfalls ungeschliffen und gebeizt passiviert. Die Lochnähte sind verschliffen und gebeizt passiviert. Alle Schweißnähte wurden umlaufend dicht

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

ausgeführt. Alle kerbfreien ausgeführten Schweißnähte mussten zwecks Spannungsabbau mittels WIG - Verfahren nachbehandelt werden.

Zusätzlich sind Blindnietmuttern von der Firma Böllhoff eingebaut worden (siehe Abb.9). Die Befestigungen für die Komponenten Schauglas, Sandkastendeckel, Sandstandsensor, Sandungsanlage und Inspektionsdeckel werden durch Blindnietmuttern realisiert. Die Bohrungen für die Blindnietmuttern wurden nach DIN 660 angefertigt. Es wurden 2 Arten von Blindnietmuttern verwendet: 22 x M6 und 4 x M12 für die Befestigung der Sandungsanlage.

Das Sandkastenmaterial besteht aus Niro (1.4316). Das gesamte Gewicht des Sandkastens inklusive sämtlicher Komponenten beträgt ca. 23 kg.

Der Honolulu-Sandkasten besteht aus folgenden Komponenten:

ANZAHL	BEZEICHNUNG
1	SANDKASTEN
1	EINFUELLDECKEL
18	SPERRKANTRING (ø6)
6	ZYLINDERSCHRAUBE (M6x20)
1	SCHAUGLAS
1	SANDSTANDSENSOR
1	LUFTHUTZE
1	SANDUNGSANLAGE
1	SANDSCHLAUCH
1	DICHTUNG
1	BLECH
1	HALTER
2	SCHELLE
7	KEILSCHEIBENPAAR (NL8SP)
2	SECHSKANTSCHRAUBE (M8x60)
5	SECHSKANTMUTTER (M8)
3	SCHEIBE (ø8)
3	SECHSKANTSCHRAUBE (M8x25)
1	SCHILD
4	KEILSCHEIBENPAAR (NL12)
4	SECHSKANTSCHRAUBE (M12x55)
4	SCHEIBE (ø6)
8	ZYLINDERSCHRAUBE (M6x25)
1	TYPENSCHILD
1	6KT-GEGENMUTTER (M12x1,5)
8	ZYLINDERSCHRAUBE (M6x16)

Tabelle 3: Honolulu-Komponenten

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

In Abb. 12 (rechts) kann man 6 Langlöcher erkennen. Diese haben einen Durchmesser von 14 mm und eine Länge von 8 mm. Sie sind für die Befestigung am Fahrzeug notwendig. In Abb. 13 sind die Hauptabmessungen in mm des gesamten Sandkastens dargestellt.

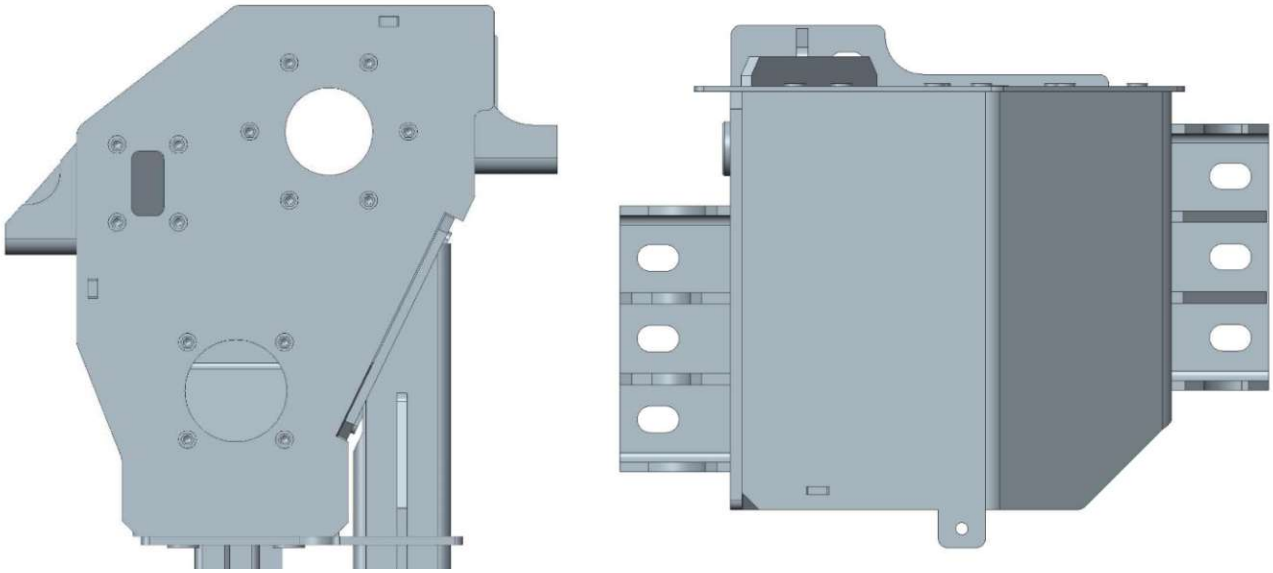


Abbildung 12: Sandkasten Honolulu, Ansicht von links (links), Ansicht von oben (rechts)

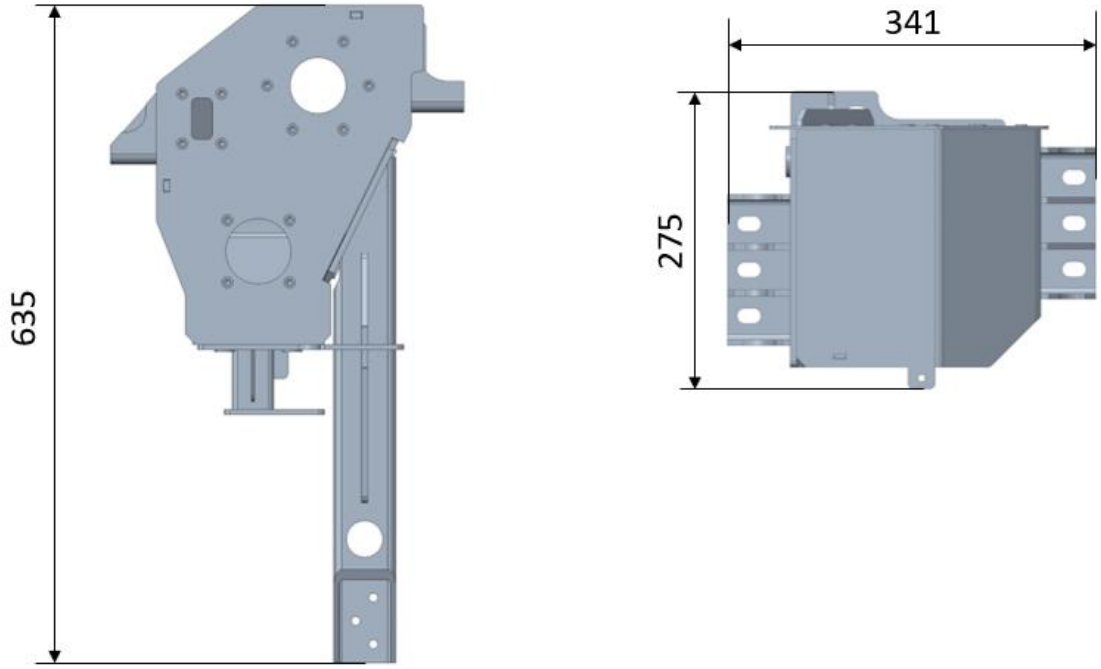


Abbildung 13: Hauptabmessungen des Sandkastens Honolulu

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4.3 Geometrie

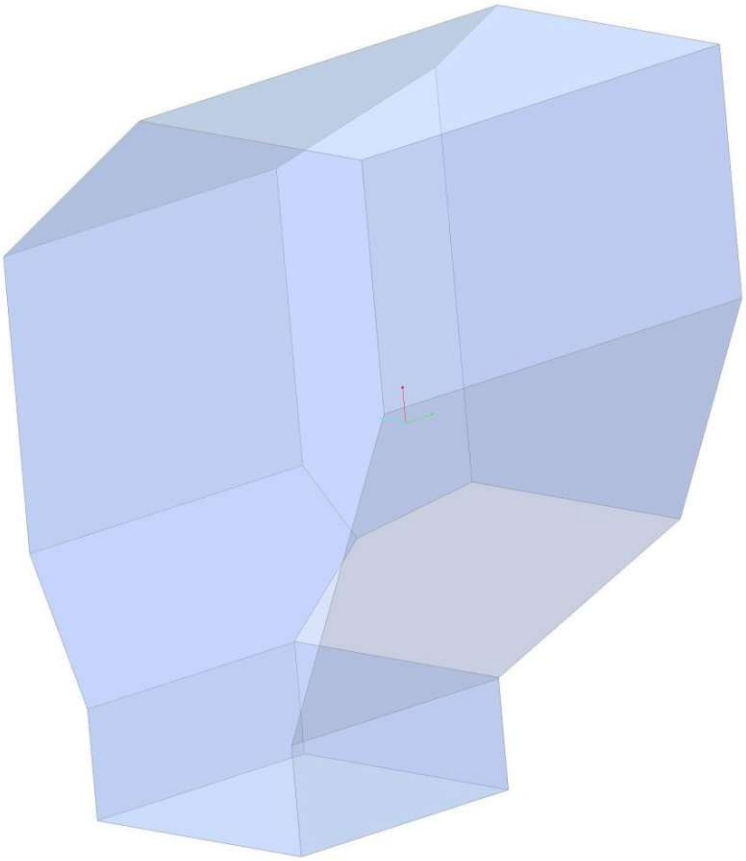


Abbildung 14: Geometrie vom Honolulu-Sandkasten

Die Geometrie des Korpus ist der wichtigste Bestandteil der Konstruktion. Diese darf sich nicht verändern. Die zwei neuen Konzepte sind von dieser Geometrie ausgegangen und wurden speziell dafür modelliert.

Wie man in der Abb. 14 beobachten kann, ist die Konstruktion der Geometrie sehr komplex. Sie besteht aus 7 Ebenen, die senkrecht aufeinander stehen und 6 Ebenen, die zwischen 8° und 60° zueinanderstehen. Die Geometrie musste aufgrund des freistehenden Platzes im Fahrzeug des Kunden so konstruiert werden, dass es möglich war, den Kasten mit ca. 8,5 Liter Sand zu befüllen.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4.4 Korpus

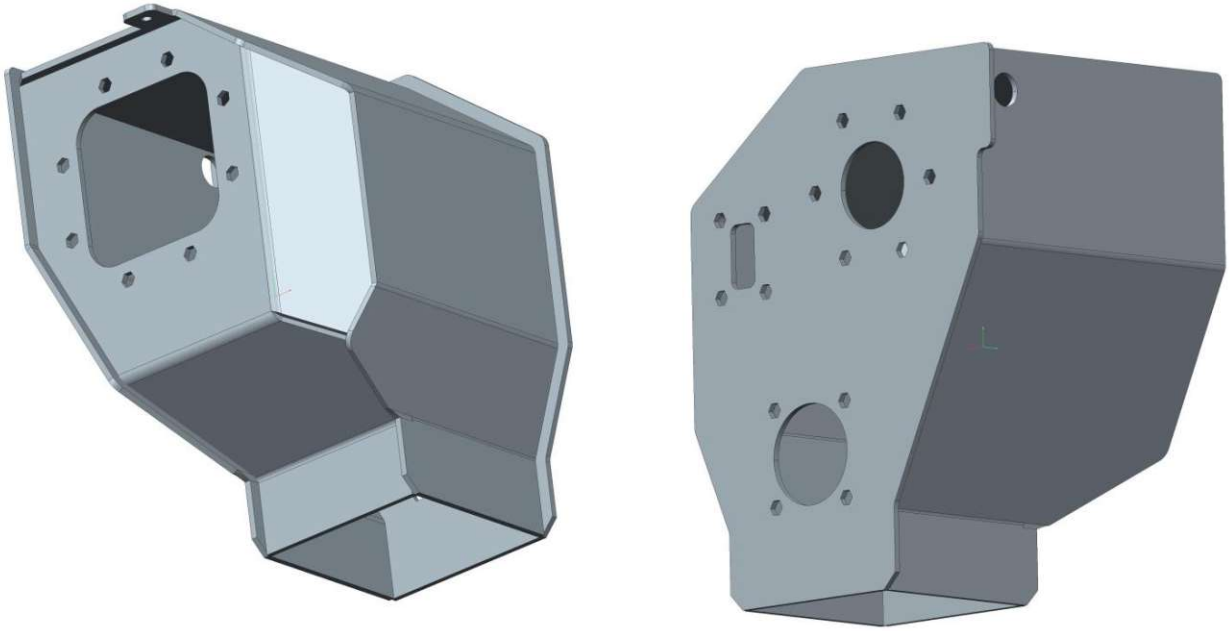


Abbildung 15: Honolulu-Sandkasten Korpus

Der Korpus ist der wichtigste Teil eines Sandkastens. Er trägt das gesamte Gewicht des Sandes und darf daher keine Undichtheiten besitzen. Wie im Punkt 3.2 erwähnt wurde, werden die meisten Sandkästen aufgrund einer besseren Festigkeit zusammengeschweißt. Der Korpus vom Honolulu-Sandkasten besteht aus 4 zusammengeschweißten Blechen. Durch das Zusammenschweißen konnte man sicherstellen, dass keine undichten Stellen an den Kanten des gesamten Korpus zu finden sind. Wie in Abb. 15 zu sehen ist, sind 3 von den 4 Blechen gebeugt. Die Dicke der Bleche beträgt 4 mm.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4.5 Weitere Bestandteile des Sandkastens

- Konsolen:

Für die Stützung des Sandkastens werden zwei Konsolen aus 5 mm Blechstärke verwendet. Um das Gewicht relativ gering zu halten, verwendet man Hohlprofile. Diese werden zusätzlich mit Bohrungen (bei der großen Konsole = Durchmesser 35 mm, bei der kleinen Konsole = Durchmesser 25 mm) an allen vier Seiten durchgeschnitten, um mehr Gewicht zu reduzieren. An der großen Konsole befinden sich vier angeschweißte „Flügel“, um eine höhere Stabilität gegenüber Vibrationen und äußeren Kräften herzustellen. Diese werden zusätzlich an der Bodenplatte angeschweißt.

Abbildung 16: Kleine Konsole mit Fuß

Abbildung 17: Große Konsole mit Flügeln

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

- Bodenplatte:

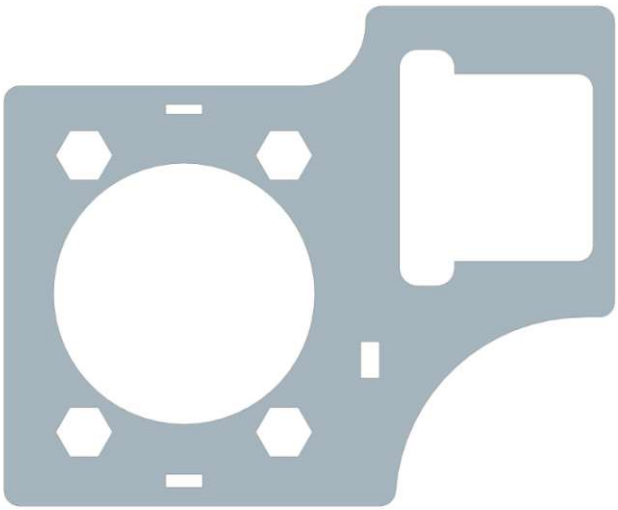


Abbildung 18: Bodenplatte

Die Bodenplatte wird hauptsächlich für die Verbindung vom Sandkasten mit der Sandungsanlage gebaut. An den vier Sechskantbohrungen werden Blindnietmuttern montiert, um die Sandungsanlage zu befestigen. Die T- förmige Bohrung wurde extra gefräst, um die Bodenplatte durch die große Konsole hindurch zu montieren.

- Befestigungsplatten:

Abbildung 19: Befestigungsplatten

Diese Befestigungsplatten mit jeweils 3 Langlöchern sind für die Befestigung am Fahrzeug nötig. Jede Platte besitzt drei Langlöcher mit einem Durchmesser von 14 mm und einer Länge von 8 mm. Die Befestigungsplatten werden am Sandkasten mit einer a4-Kehlnaht angeschweißt.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5 Erstes Konzept: Sandkasten ALBI

Wie in Kapitel 4 erklärt wurde, weist die Konstruktion vom Honolulu-Sandkasten eine hohe Komplexität auf. Daher hat man sich an dieser Geometrie orientiert, um neue Modelle zu entwickeln, die zukünftige Probleme, wie zum Bsp. sehr schwere und teure Konstruktionen, vermeiden. In diesem Kapitel wird das erste Konzept, das entwickelt wurde, der Sandkasten ALBI (siehe Abb. 20), beschrieben.

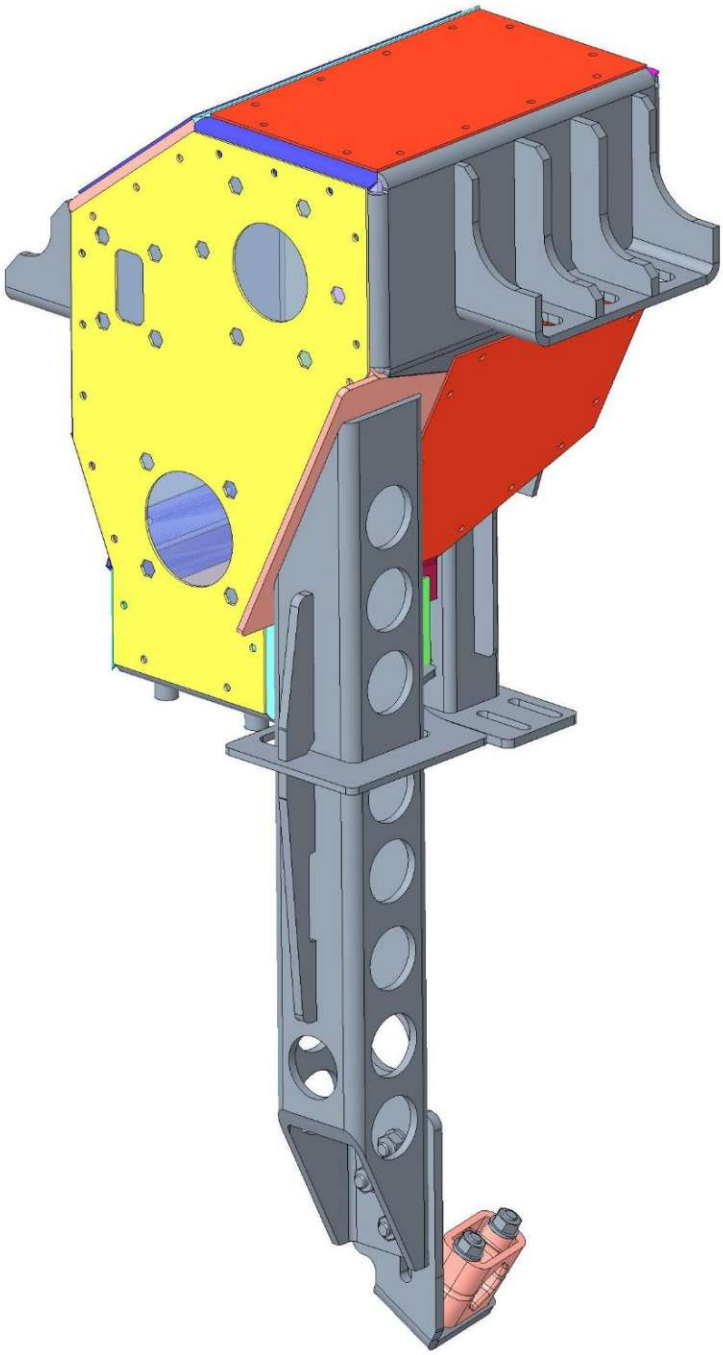


Abbildung 20: Sandkasten ALBI inkl. Komponenten

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die CAD-Konstruktion ist in Creo Parametrics modelliert worden. Dieser Sandkasten besteht aus denselben zwei Konsolen wie der Honolulu-Sandkasten (gleiches Gewicht und Befestigungspunkte). Die Struktur des Korpus ist eine reine Schweißkonstruktion. Um den Kasten abzudichten, werden 1,5 mm dicke Blechplatten an die Struktur vom Korpus genietet. Bis auf diese Platten sind alle Teile miteinander verschweißt.

Da Nietverbindungen unlösbare und dichte Verbindungen von Bauteilen aus verschiedenen Werkstoffen sind, wurden sie Schrauben bevorzugt. Durch die Schrumpfung in Längs- und Querrichtung entstehen Zug- und Schubspannungen im Niet. Die Längskraft presst die Bauteile zusammen und der bei der Betriebsbelastung in den Berührungsflächen der Bauteile entstehende Reibungswiderstand verhindert das Verschieben der Bauteile gegeneinander. Dies ist für unseren Sandkasten wichtig, da es sonst durch die hohe Zuggeschwindigkeit und große Anzahl an Vibrationen schneller zu Problemen, wie zum Bsp. große Abnutzung, kommen könnte und die gewünschte Lebensdauer von 10 Jahren nicht zu erreichen wäre. (Böge, 2009)

Ein anderer Grund für die Anwendung von Nieten sind die Vorteile gegenüber dem Schweißen: Keine Werkstoffbeeinflussung und kein Verzug der Bauteile. Diese beiden Gründe sind besonders wichtig, da die Winkelkonstruktion vom Korpus teilweise aus sehr kleinen und kurzen Winkeln besteht. (Böge, 2009)

5.1 Korpus

Der innovative Teil dieses Sandkastens ist der Korpus, dessen Struktur hauptsächlich aus einer L- und T-Winkelkonstruktion besteht. Die Winkelteile haben eine Blechstärke von 4 mm. Für die bessere Erkennung der einzelnen Winkel wurden sie in verschiedenen Farben modelliert. Die grundsätzliche Idee hinter so einer komplexen Konstruktion ist die Reduzierung von Gewicht und die standardisierte Konstruktion, basierend auf Referenzen. Dies bedeutet, dass jeder Winkel aufeinander und auf die Geometrie referenziert ist, sodass sich bei einer Geometrieänderung die Winkelkonstruktion (mit wenigen Problemen wie zum Bsp. dass manche Referenzen vom CAD-Programm nicht mehr erkannt werden) mitändern sollte.

Die Winkel müssen an beiden Enden miteinander verschweißt werden. Die Befestigungsplatten, an denen die Konsolen angeschweißt werden, mussten aus Festigkeitsgründen aus 4 mm gebogenen Blechplatten konstruiert werden, da diese

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

nicht nur das Gewicht vom Sand zu tragen haben, sondern zusätzlich das Gewicht der Konsolen und deren Komponenten. Die Bodenplatte wird auch an den vier kleinen L-Winkeln (in Abb. 21 in Türkis gefärbt), angeschweißt. In Abb. 24 kann man auch eine Lasche in Gelb erkennen, die extra an die Bodenplatte angeschweißt wurde. Diese Lasche dient der Nietbefestigung der dünnen Blechplatten. Zwischen den Winkeln und den Blechplatten entstanden durch das Kantenbiegen 1 mm bis 5 mm große Löcher, die mit einem flüssigen Dichtmittel abgedichtet werden müssen. Das Gewicht vom Korpus liegt bei ca. 5 kg und er besteht aus 21 Teilen. Davon 16 L-Winkel, 1 T-Winkel, 1 Lasche und 3 gebogene Bleche (siehe Abb. 21 und 22).

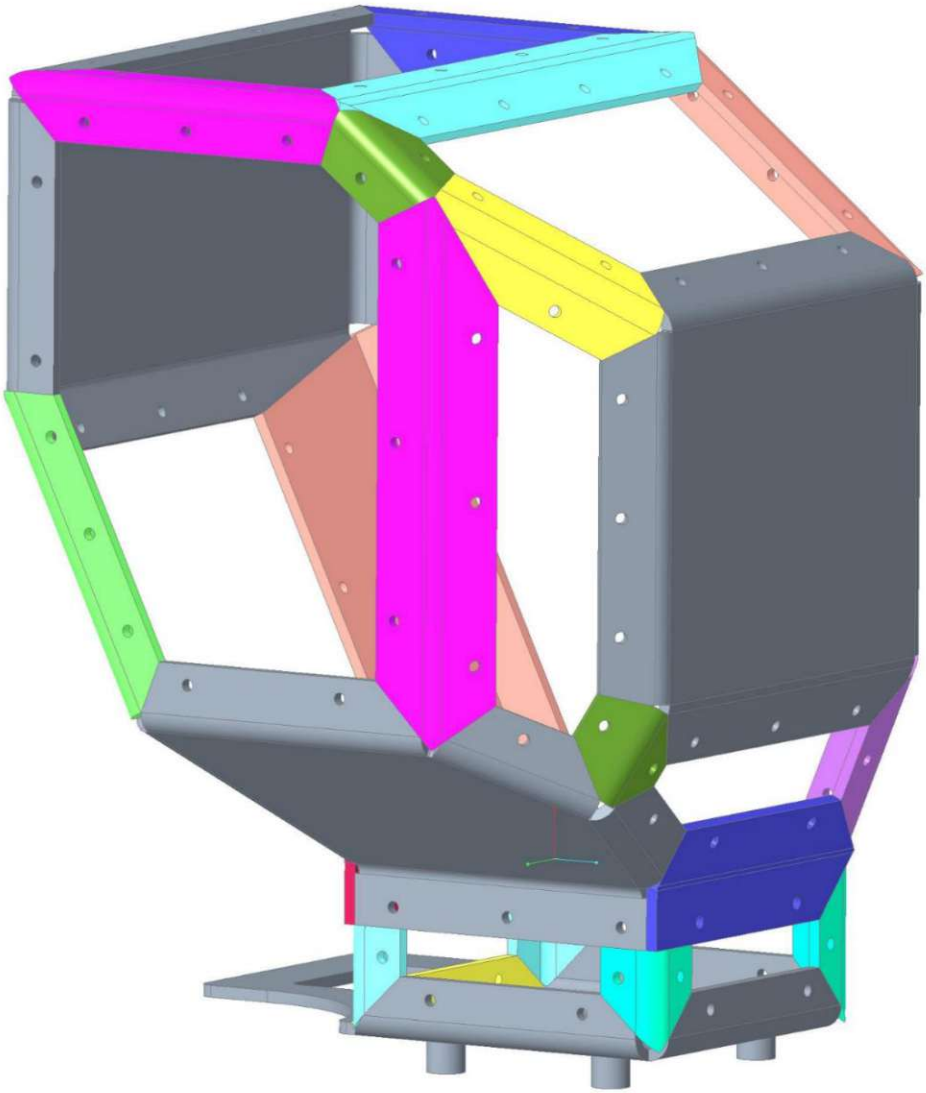


Abbildung 21: Korpus des Sandkasten ALBI, Ansicht rechts

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

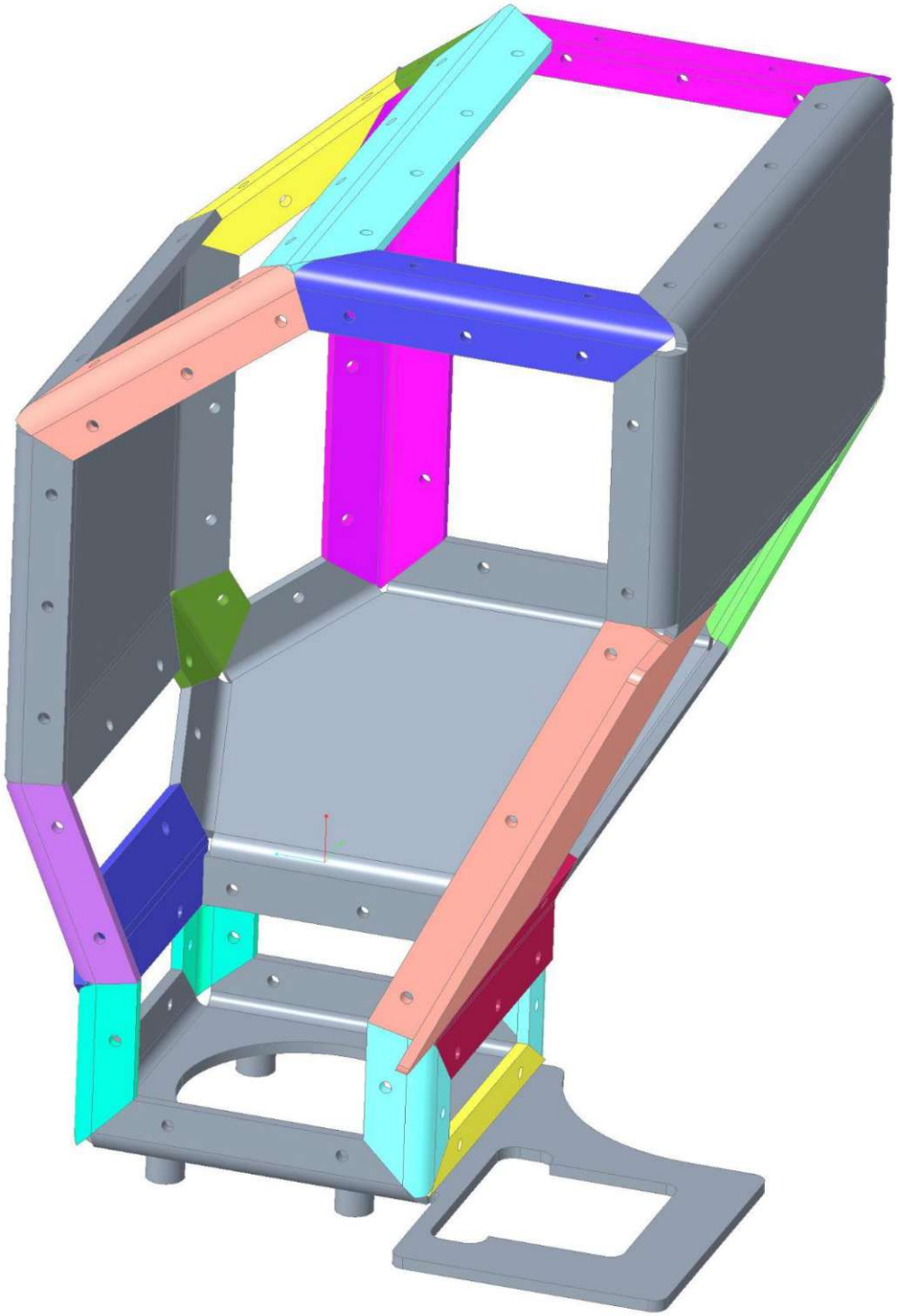


Abbildung 22: Korpus des Sandkasten ALBI, Ansicht links

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.2 Bodenplatte und große Konsole

Zusätzlich zum Korpus braucht man für einen funktionellen Sandkasten noch weitere Komponenten. Da ALBI eine Optimierung vom Honolulu-Sandkasten (der in Kapitel 4 präsentiert wurde) darstellt, sind die meisten Komponenten gleichgeblieben und übernommen worden, bis auf die Bodenplatte. In Abb. 23 kann man diese besser betrachten.

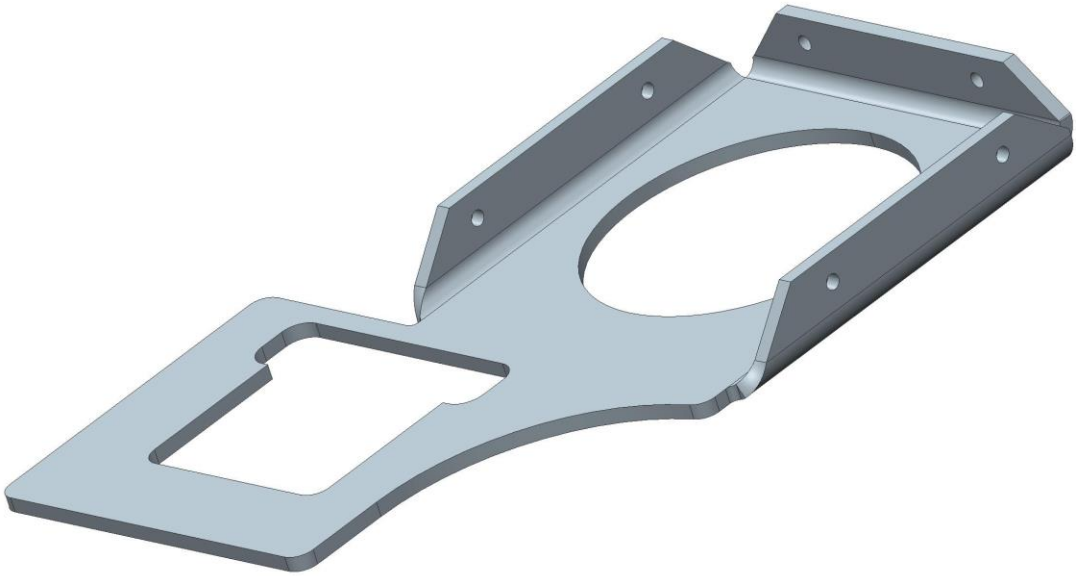


Abbildung 23: Bodenplatte des Sandkastens ALBI

Diese Bodenplatte besteht aus einem 4 mm dicken Blech. Die Geometrie ist erhalten geblieben, die einzigen Änderungen sind die Biegungen der Kanten um 90°. Diese Kantenbiegung war für die, zur Abdichtung notwendigen, 1,5 mm dicken Platten zur Befestigung nötig.

Die runde Bohrung wird für die Sandungsanlage geschnitten. Sie hat einen Durchmesser von 85 mm. Sie ist für die Sandungsanlage SDN31.1 angepasst und angefertigt. Die zweite Bohrung ist für die Konsole nötig. Diese geht durch die Bohrung durch und wird dann rundherum angeschweißt (siehe Abb. 24). Die Bohrungen an den gebeugten Laschen haben einen Abstand von 60 mm.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Für die Stabilisierung des Sandkastens wird die in Abb. 24 gezeigte Konsole verwendet. Diese wird nicht nur an der Bodenplatte rundherum angeschweißt, sondern auch am Korpus (siehe Abb. 25). Die Konsole besitzt auf beiden Seiten einen oberen und einen unteren Flügel. Diese werden nicht nur an der Konsole, sondern auch an der Bodenplatte angeschweißt. Die Flügel sind extra angebracht, um die durch äußere Kräfte verursachten Bewegungen und Biegungen zu minimieren.

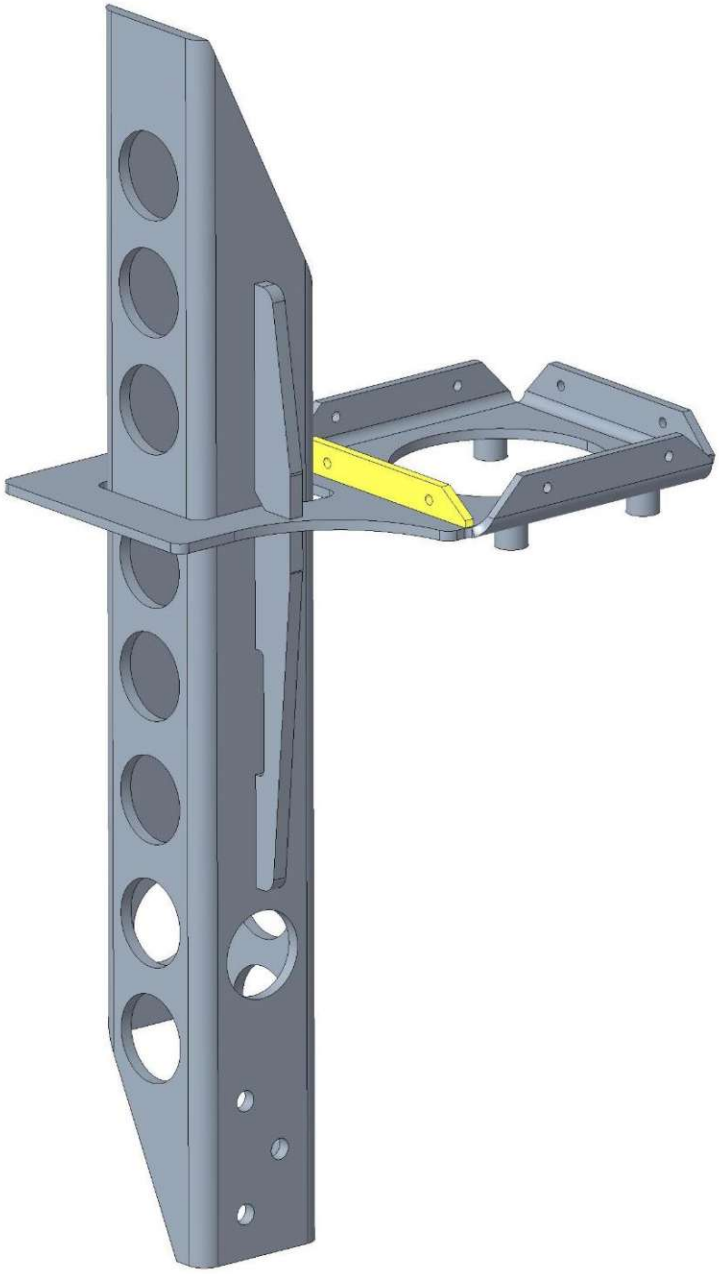


Abbildung 24: Konsole mit Bodenplatte

Die Konsole wird hohl konstruiert und wie man in Abb. 24 sehen kann, werden an diese einige Bohrungen angebracht, um das Gewicht zu senken. An den drei kleinen

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

Bohrungen am unteren Ende der Konsole wird ein Stecker für den Sandschlauch angeschraubt. Die Stärke der Konsole beträgt 4 mm. Die Bodenplatte und die Konsole sollen aus austenitischem Stahl, X5CrNi18-10, hergestellt werden. Um den unteren Teil des Korpus mit der Bodenplatte zu verbinden, muss eine zusätzliche Lasche an der Bodenplatte angeschweißt werden. In Abb. 24 ist diese in Gelb zu sehen.

5.3 Kompletter Sandkasten

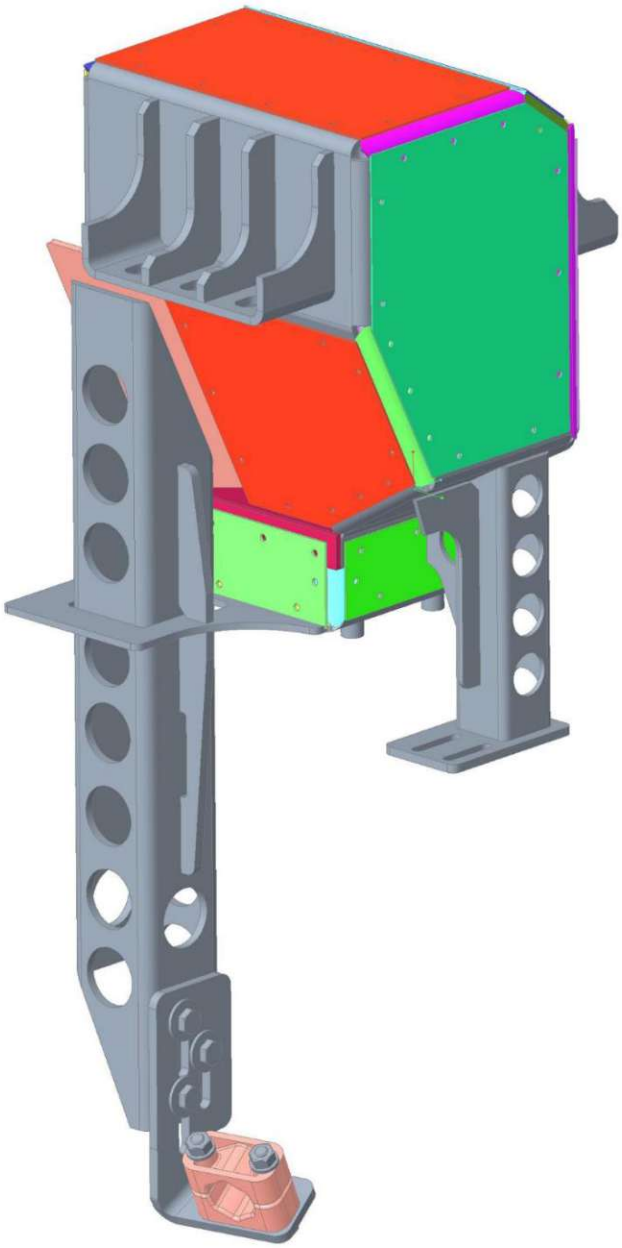


Abbildung 25: Sandkasten ALBI

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Um den Korpus abzudichten, muss man 1,5 mm dicke Blechplatten mit der Winkelkonstruktion verbinden. Diese Platten haben lediglich die Aufgabe der Abdichtung. Für die Aufnahme von großen Kräften sind sie aufgrund ihrer geringen Stärke nicht geeignet.

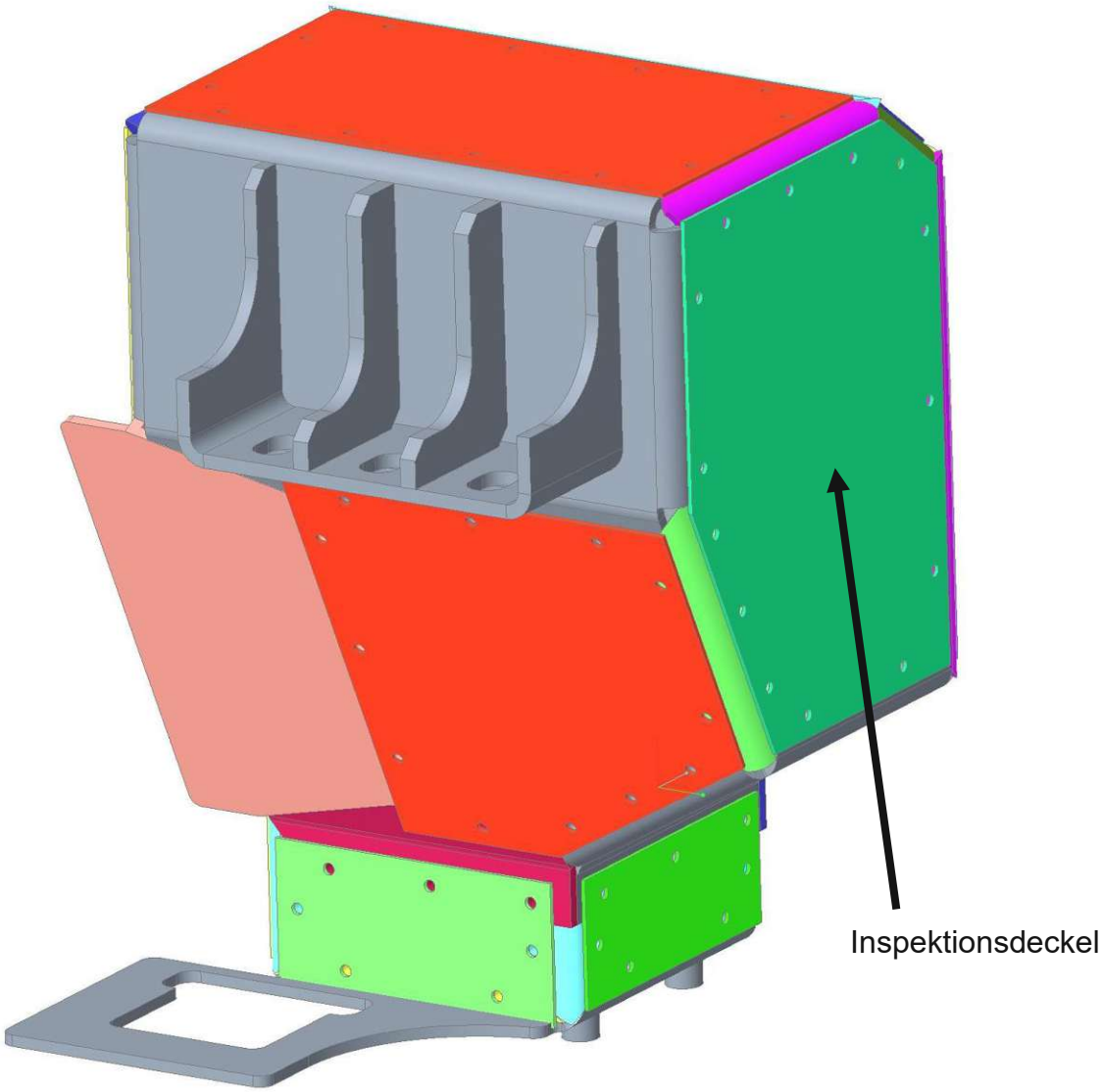


Abbildung 26: Korpus ALBI mit Platten, Ansicht vorne

Wie man in Abb. 25, 26 und 27 sehen kann, werden die Platten nur mit dem Korpus verbunden. Insbesondere wird die grüne Platte auch als Inspektionsdeckel verwendet. Daher muss man an dieser Platte für die Befestigung mit der Winkelstruktur Schrauben

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

statt Nieten anbringen, die man mehrmals abnehmen kann und die nicht flüssig gedichtet sind.

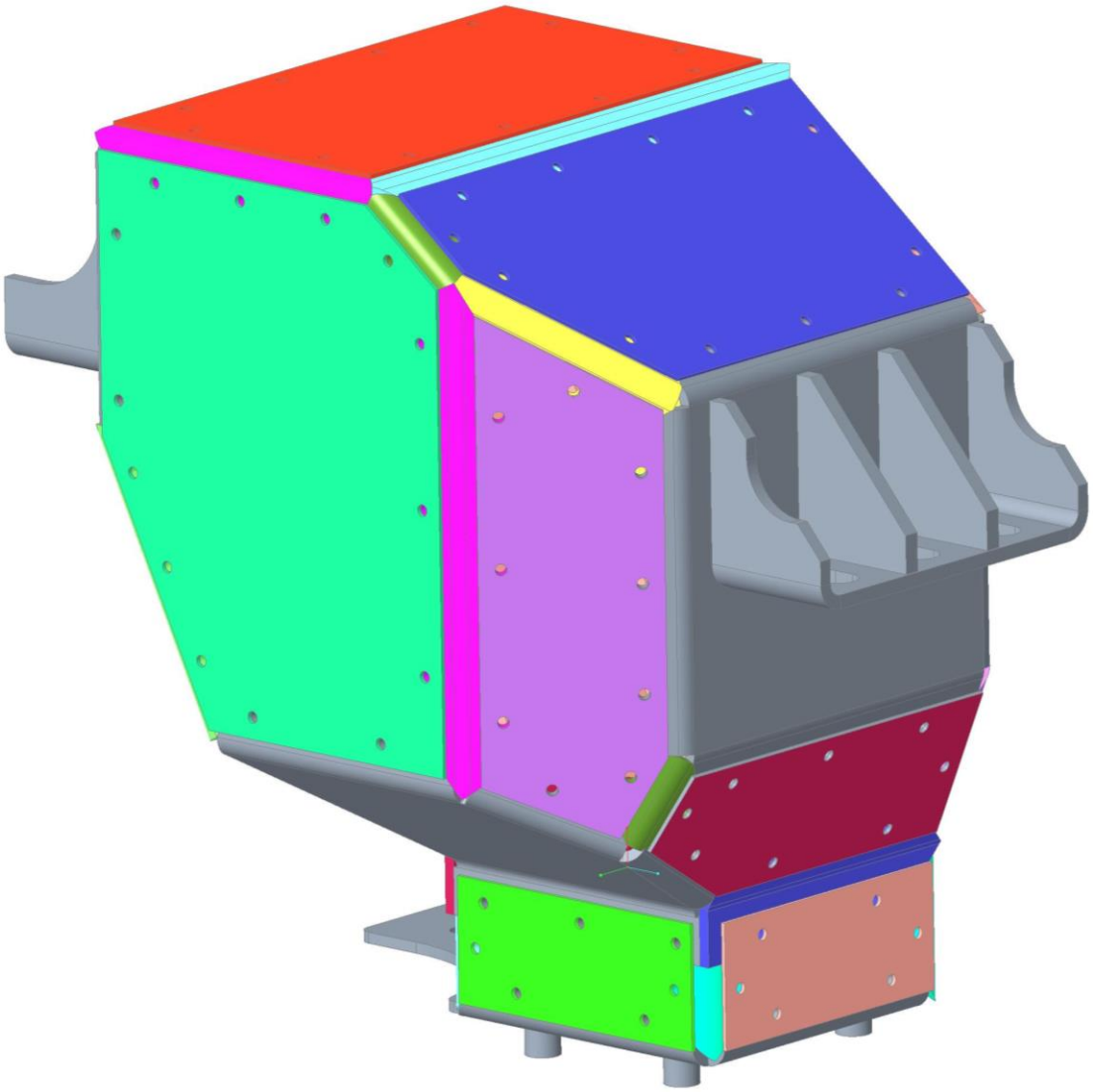


Abbildung 27: Korpus ALBI mit Platten, Ansicht hinten

Wie schon in Kapitel 5.1 erwähnt wurde, sollen die Platten mit der Winkelkonstruktion durch Nieten verbunden werden. Nach reichlicher Überlegung hat man sich aber für Blindnietmuttern entschieden. Diese werden in der Sandkastenkonstruktion bei Knorr-Bremse am häufigsten verwendet. Es wurden M5-Teilsechskant-Blindnietmuttern der Firma Böllhoff ausgewählt. Diese sollen in geschlossener Ausführung sein, um das Innengewinde der Blindnietmutter vor Sand zu schützen. Der Durchmesser (5 mm) der Blindnietmutter musste so festgelegt werden, da die Blechstärke der Winkel 4 mm beträgt. (Böllhoff & Knorr-Bremse, 2018)

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

5.4 Festigkeitsanalyse

In diesem Kapitel wird die FE-Analyse in Form einer Modalanalyse dargestellt. Die Analyse wurde mit „Creo Simulate Tool“ durchgeführt.

Der Sandkasten beinhaltet die Winkelkonstruktion als Volumenkörper. Das Gewicht der Winkelstruktur wurde als Kraft mit einer Masse von 10 kg im Berechnungsmodell berücksichtigt.

Als Material wurde austenitischer Stahl X5CrNi18-10 mit folgenden Werten definiert. Die Materialeigenschaften wurden der FKM-Richtlinie entnommen (Rennert, Kullig, Vormwald, Esderts, & Siegele, 2012):

Bezeichnung	Symbol	Werte	Einheit
Dichte	ρ	7850	kg/m^3
E-Modul	E	200000	MPa
Querkontraktionszahl	v	0,3	-
Streckgrenze	R_p	220	MPa
Zugfestigkeit	R_m	520	MPa
Zug- Druck Wechselfestigkeit	$\sigma_{W,zd}$	210	MPa

Tabelle 4: Materialdaten

5.4.1 Versuch 1

Im Versuch 1 wird nur die Winkelkonstruktion des Kastens untersucht, da diese Konstruktion alle Kräfte und Vibrationen aushalten muss.

Das FE-Modell besteht aus:

1. Dem Gewicht der Winkelstruktur des Korpus = 10 kg
2. Dem Gewicht der Sandungsanlage = 2,2 kg
3. Dem Gewicht vom Schlauch mit Befestigung = 0,8 kg
4. Dem Gewicht am Fuß = 1,5 kg
5. Dem Gewicht des Sandes = 16 kg

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

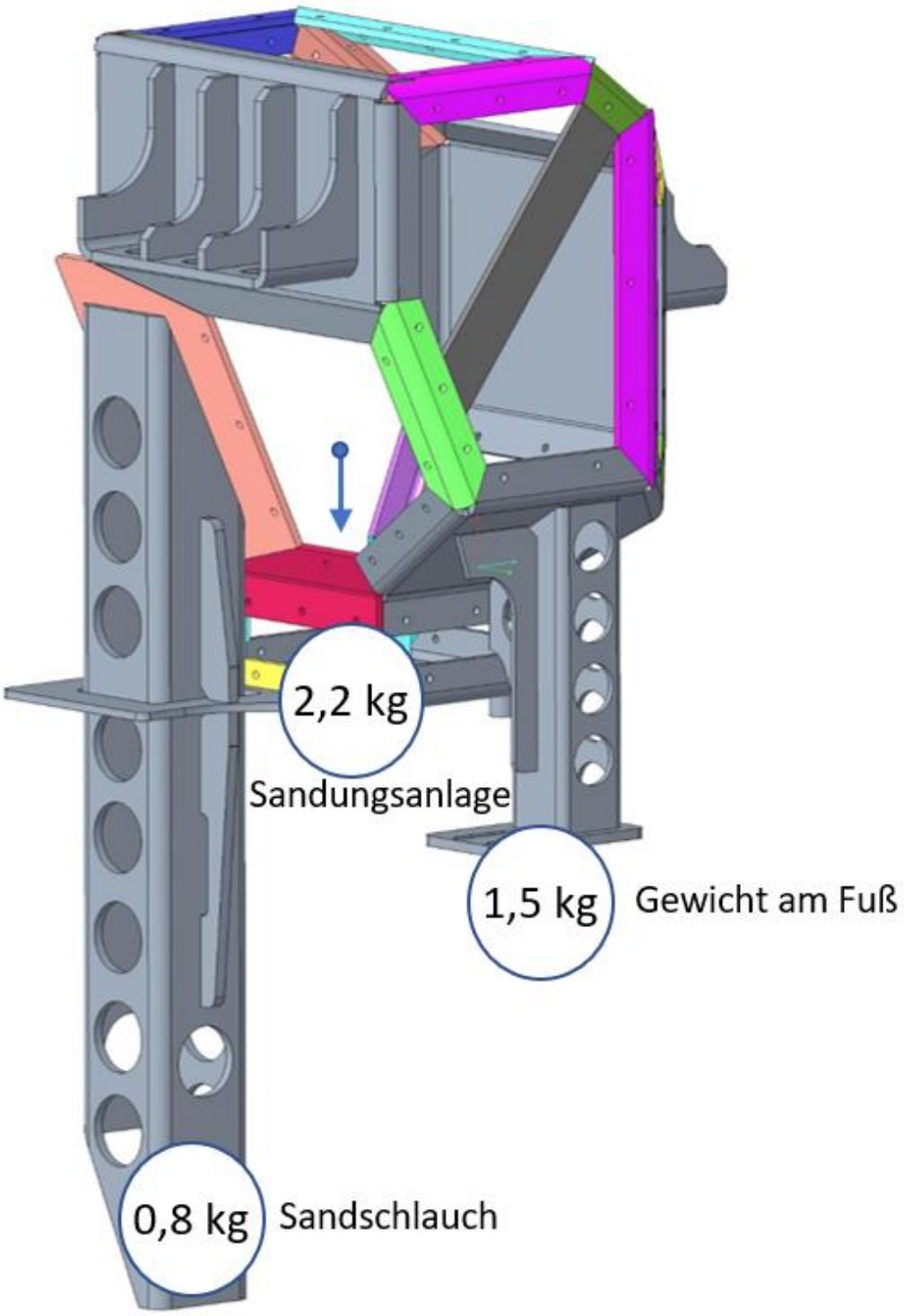


Abbildung 28: Zusätzliche Gewichte im Modell ALBI

Der blaue Pfeil in Abb. 28 zeigt in X-Richtung (siehe auch Abb. 30) und stellt den Massenmittelpunkt dar. Das Eigengewicht des Korpus und des Sandes wird mit Hilfe des Massenmittelpunktes berechnet.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

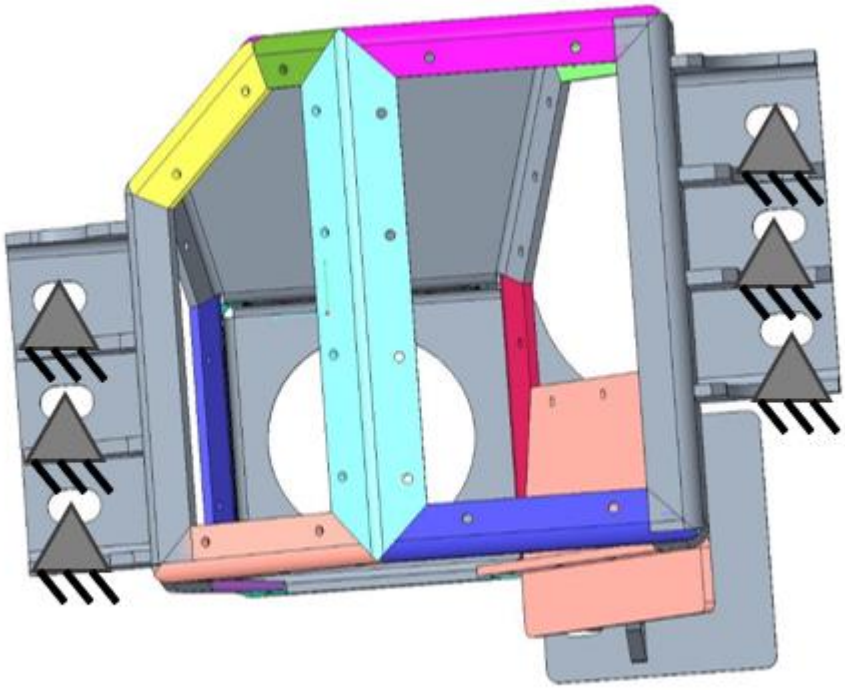


Abbildung 29: Befestigungen im Modell ALBI

An den Befestigungspunkten wird das FE-Modell mit starren, ringförmigen Einspannungen festgehalten (siehe Abb. 29).

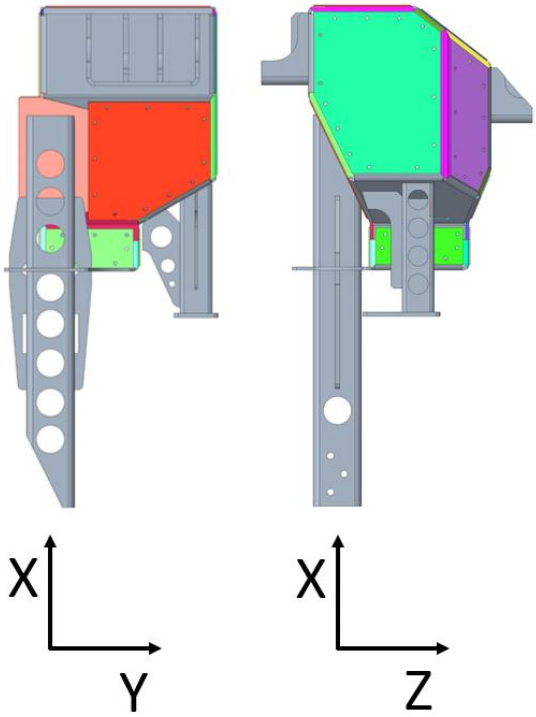


Abbildung 30: Koordinatensystem bezogen auf das Modell ALBI

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.

5.4.1.1 Vernetzungseigenschaften

Ein Großteil des Aufwandes bei der Modellierung eines Bauteils steckt in der FE-Analyse. Ein Teil dieses Aufwandes wird für die Erzeugung der Elementnetze benötigt. Volumenmodelle sind sehr aufwendig betreffend Vernetzung, Rechenzeit und Speicherbedarf. Trotzdem sind CAD-Programme gut in der Lage, Vernetzungen für die Modelle automatisch zu generieren. Die Qualität der Vernetzungen zeigt sich daran, inwieweit sie in der Lage sind, gleichmäßige Netze aufzubauen. Es wird nicht das Gesamtvolumen auf einmal vernetzt, sondern das gesamte Modell wird in Teilvolumina aufgeteilt, die nacheinander vernetzt werden. Die Vernetzungseigenschaften für die Modalanalyse werden so festgesetzt, dass Regionen mit großen Spannungsunterschieden feiner vernetzt werden als der Rest des Bauteils. (Fröhlich, 1995, S. 81f)

Der Sandkasten wird für die Vernetzung als 3D-Volumenkörper betrachtet. Dieser wird aus 12520 Tetraeder-Elementen erzeugt, mit 22243 Kanten und 29849 Seitenflächen. Der min. Kantenwinkel beträgt 5.00 Grad und der max. Kantenwinkel beträgt 172.72 Grad.

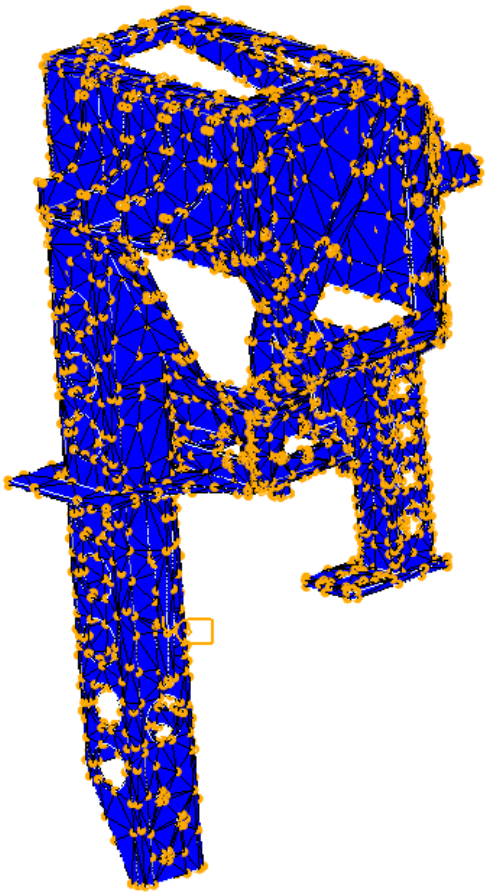


Abbildung 31: Vernetzungsmodell ALBI

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4.1.2 Modalanalyse

Es werden die ersten 6 Eigenfrequenzen in einer Modalanalyse ermittelt. In Tabelle 5 sind die für dieses Modell berechneten Eigenfrequenzen zu sehen:

Mode	Frequenz in HZ
1	216,2
2	247,1
3	316,1
4	422,6
5	456,3
6	548,8

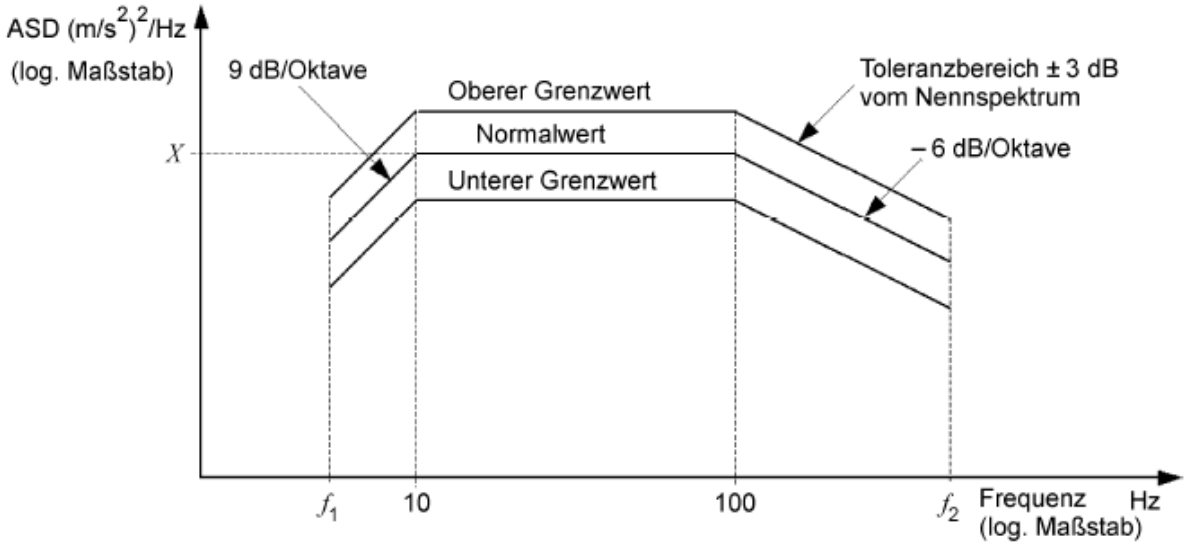
Tabelle 5: Eigenfrequenzen

Die ersten zwei Eigenfrequenzen liegen innerhalb der maximalen Anregung nach EN 61373 Kat. 2 (siehe Abb. 31). Deshalb werden die Modalanalysen mit den in der Norm angegebenen Anregungen durchgeführt. Zusätzlich sind in der Norm für Festigkeitsversuche Lasten definiert. Diese werden auf die FE-Struktur aufgebracht.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4.1.3 Lastfälle

In der EN 61373 werden bestimmte Spektren für Beschleunigungssignale für beschleunigte 5-Stunden-Lebensdauerversuche definiert. Daraus werden Rauschsignale für alle drei Richtungen x (vertikal), y (längs) und z (quer) abgeleitet. Wie in Abb. 32 zu sehen ist, werden die Beschleunigungssignale in einem Frequenzband zwischen f1= 5 Hz und f2 = 250 Hz definiert.



bei einer Masse ≤ 100 kg: $f_1 = 5\ \text{Hz}$ $f_2 = 250\ \text{Hz}$

bei einer Masse > 100 ≤ 250 kg: $f_1 = \frac{250}{\text{Masse}} \times 2\ \text{Hz}$ $f_2 = \frac{250}{\text{Masse}} \times 100\ \text{Hz}$

bei einer Masse > 250 kg: $f_1 = 2\ \text{Hz}$ $f_2 = 100\ \text{Hz}$

Abbildung 32: Diagramm Lastfälle EN 61373

Die Soll-Effektivwerte (Root Mean Square, RMS) der Rauschsignale sind Tabelle 6 zu entnehmen. Darüber hinaus ist für die Rauschsignale ein Mindest-Crest-Faktor von C ≥ 2,5 definiert. Für die Berechnungen wird in der Firma Knorr-Bremse immer der Faktor C = 3 für alle Sandkästen angenommen, daher wird das Modell auch mit diesem Faktor berechnet. Die sich daraus ergebenden Spitzen-Beschleunigungen sind ebenfalls in Tabelle 6 zu sehen.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

In Anlehnung an den beschleunigten Lebensdauerversuch wird ein Lastfall LF 1 definiert. Es wird angenommen, dass die Spitzen-Beschleunigungen in allen drei Richtungen (x, y, z) gleichzeitig auftreten.

	x	y	z
Effektiv- Beschleunigungen a_{RMS} in m/s²	30,6	26,6	14,2
Spitzen- Beschleunigungen C*a_{RMS} in m/s²	91,8	79,8	42,6
Beschleunigungs-Amplitude für die Berechnung a_{AMP} in m/s²	91,8	79,8	42,6

Tabelle 6: Werte für Berechnung nach EN 61373

5.4.1.3.1 Verschiebung

Die Verformungen in den Modellen sind für eine bessere Betrachtung um den Faktor 10 erhöht.

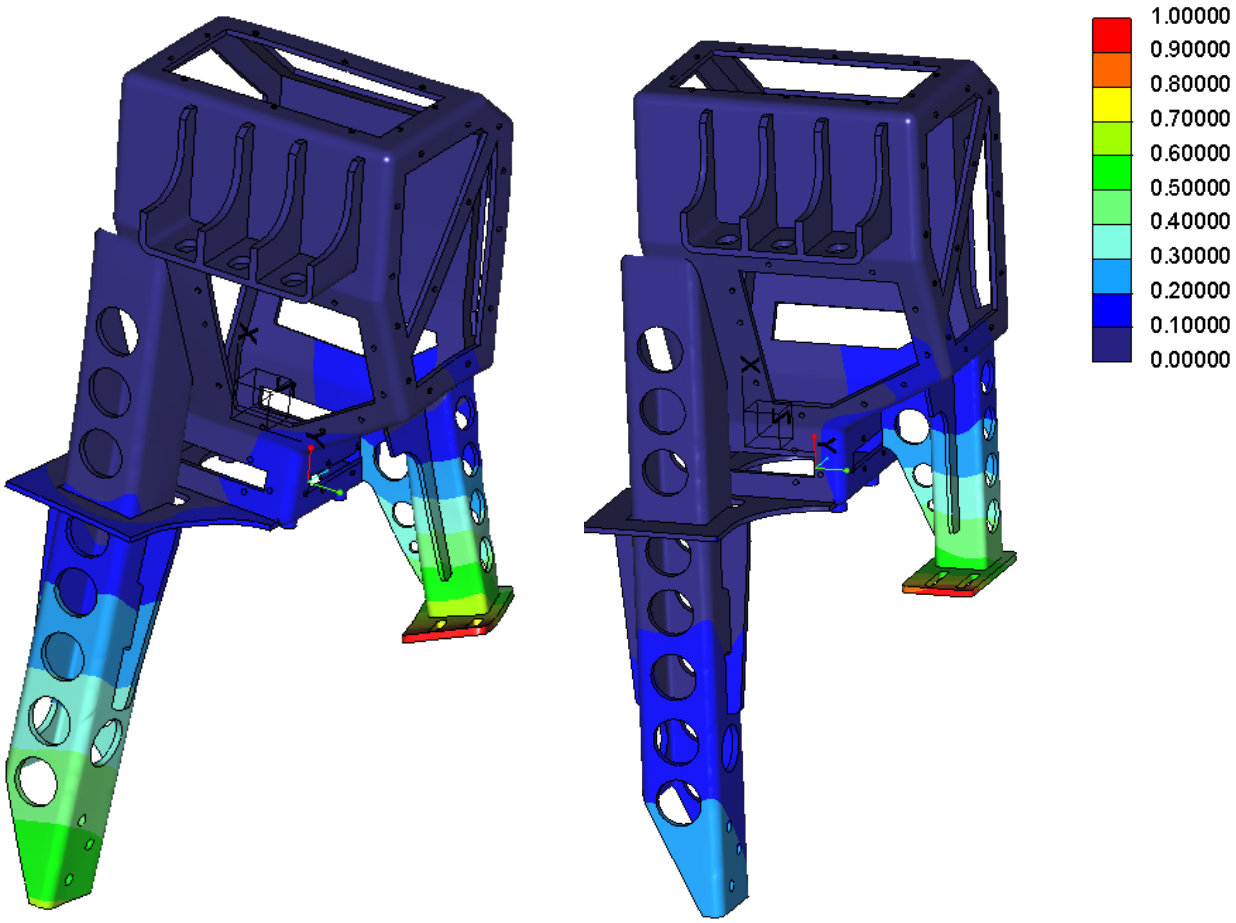


Abbildung 33: Verschiebung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht von vorne

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Wie in Abb. 33 zu sehen ist, befindet sich die maximale Verschiebung am Endpunkt der beiden Konsolen. Der kleine Fuß erlebt eine Verschiebung von ca. 10 mm in X-Richtung (siehe Abb. 30). Die große Konsole verschiebt sich am Ende um 5 mm in Y-Richtung (siehe Abb. 30). Aus dem Grund stellt man fest, dass die im unteren Teil der großen Konsole angeschweißten Flügel auf die Verschiebung keinen großen Einfluss haben.

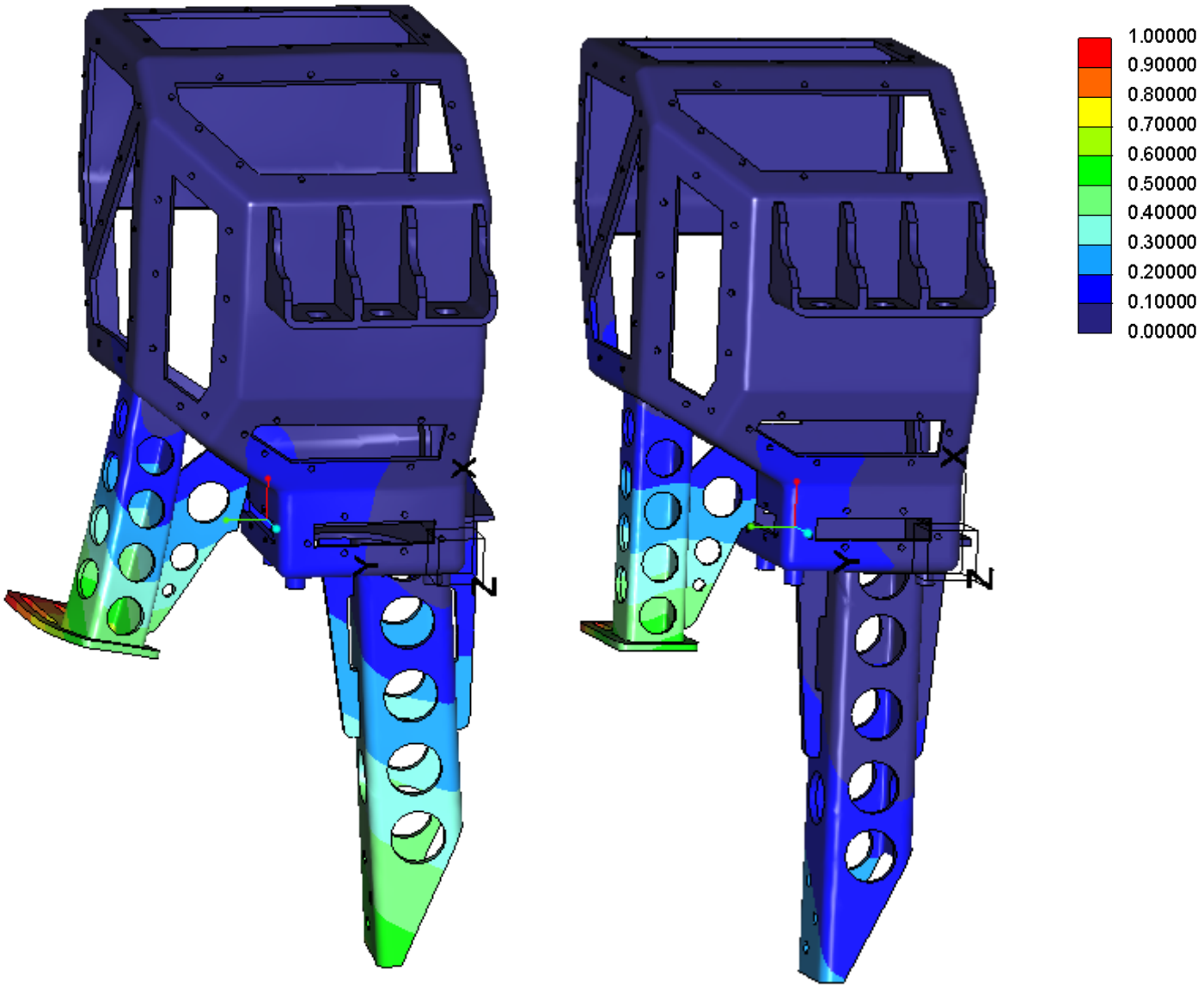


Abbildung 34: Verschiebung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht von hinten

Die Betrachtung von hinten (Abb. 34) zeigt dieselben maximalen Verschiebungen an den zwei Konsolen wie die Betrachtung von vorne in Abb. 33.

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

5.4.1.3.2 Spannung

Die Verformungen in den Modellen sind für eine bessere Betrachtung um den Faktor 10 erhöht.

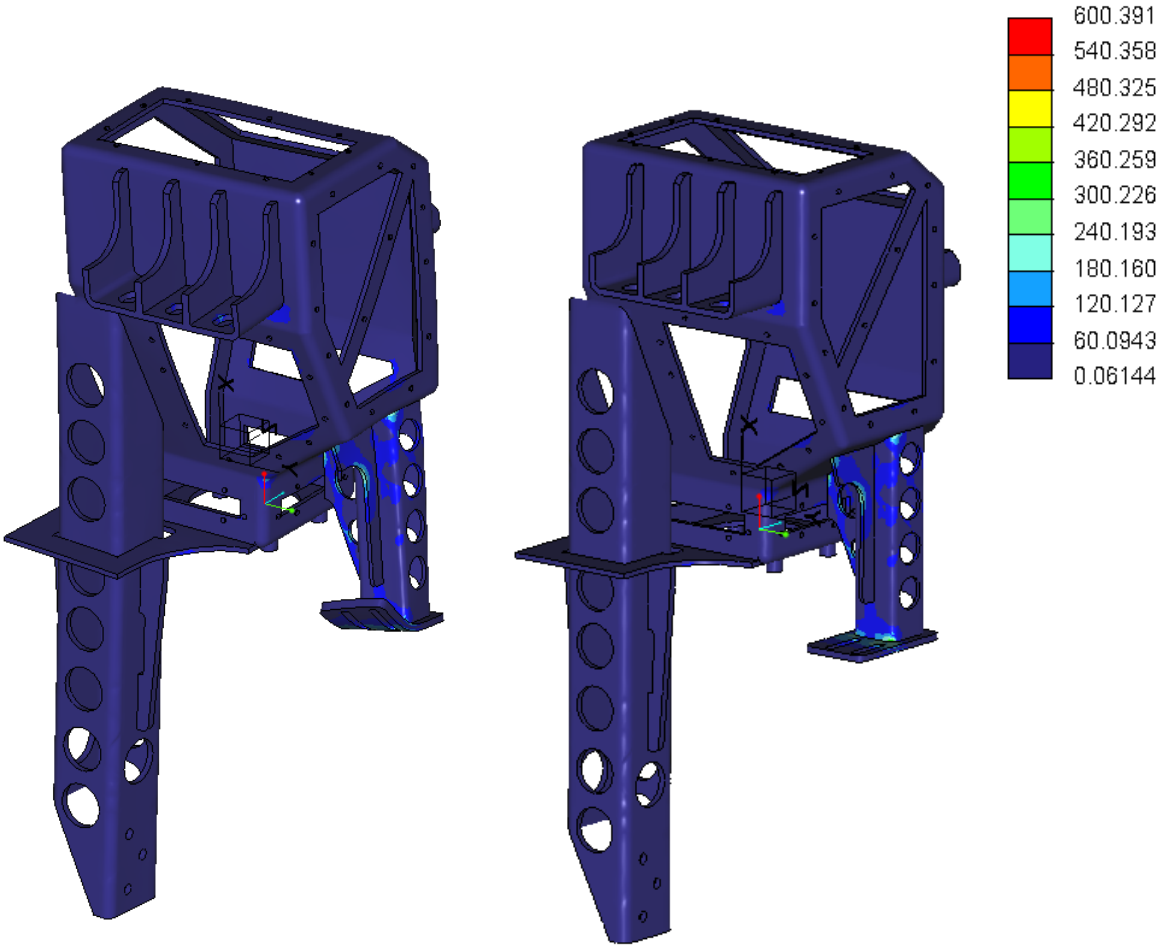


Abbildung 35: Spannung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht vorne

Wie man in Abb. 35 sehen kann, tauchen die höchsten Spannungen an der kleinen Konsole und an den Befestigungsbohrungen auf. Die Spannungen erreichen einen maximalen Wert von 300.226 MPa.

Im Modell lassen sich Punktlagerungen bzw. Angriffspunkte von Einzellasten nicht vermeiden. Diese sog. Punktlasten ergeben den in der Spannungsskala maximalen Wert 600.391 MPa (Abb. 35 und 36). Sie stellen eine Unsauberkeit in der Modellierung dar, die vernachlässigt werden kann, da diese Punktlasten in der Praxis nicht auftauchen.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

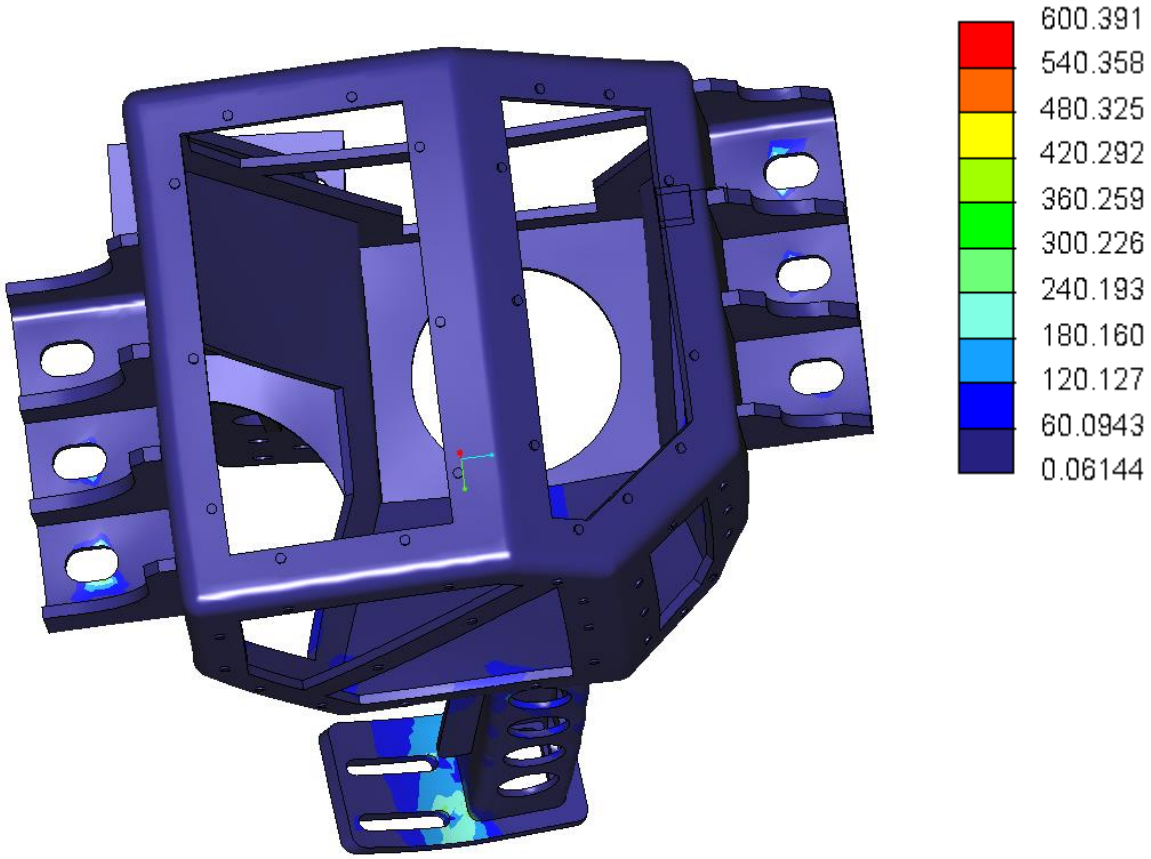


Abbildung 36: Spannung im verformten Zustand, Ansicht oben

Die Ansicht von oben, in Abb. 36, zeigt die maximalen Spannungen an den oben genannten Stellen deutlicher.

Die Stärke der Laschen, die an der kleinen Konsole angeschweißt sind, sollte erhöht werden, um die zu hohen Spannungen zu minimieren. Die Blechdicke des Fußes an der kleinen Konsole muss auch verstärkt werden, um das Gewicht von 1,5 kg, mit kleineren Verschiebungen, zu tragen.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4.2 **Versuch 2**

In diesem Versuch 2 sind die Seitenplatten mit 1,5 mm Blechstärke dazugekommen, um das Gewicht der Komponenten zu berücksichtigen. Folgende Massen sind zusätzlich berechnet worden:

1. Schauglas = 0,127 kg
2. Sandstandsensor = 0,635 kg
3. Einfüllklappe = 0,864 kg

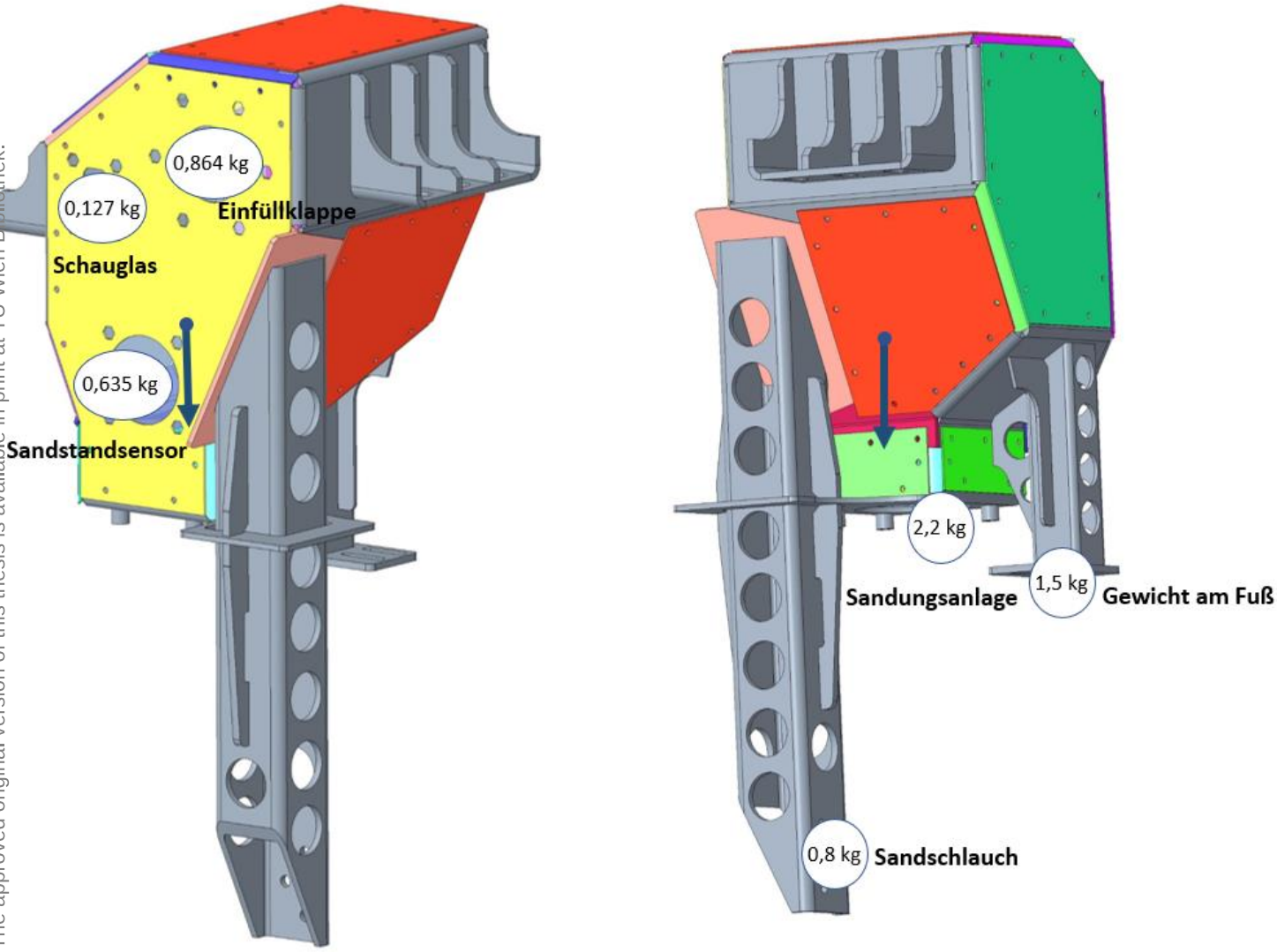


Abbildung 37: Zusätzliche Gewichte am Modell

Der blaue Pfeil in Abb. 37 zeigt in X-Richtung (siehe auch Abb. 30) und stellt den Massenmittelpunkt dar. Das Eigengewicht des Korpus und des Sandes wird mit Hilfe des Massenmittelpunktes berechnet.

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

Um die Nieten, die die Winkelstruktur und die Seitenplatten miteinander verbinden, im FE-Modell darzustellen, wurden 1 mm lange Stäbe als Verbindungselement dazwischen konstruiert. Diese besitzen einen Durchmesser von 5 mm (so wie die Blindnieten). In Abb. 38 und 39 werden diese dargestellt.

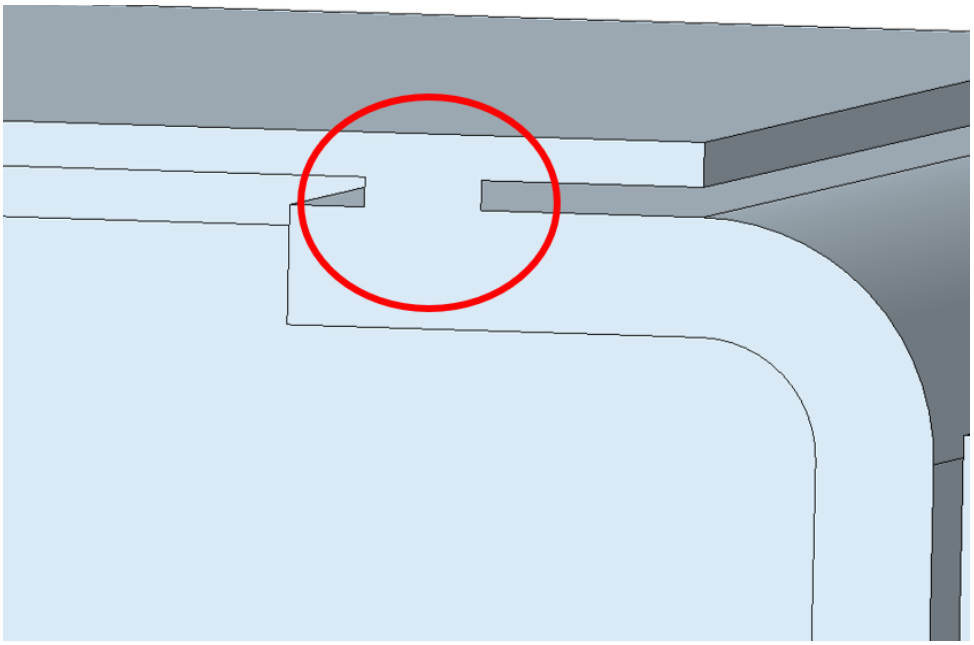


Abbildung 38: Schnitt des FE-Modells für die Darstellung der nachgestellten Blindnieten

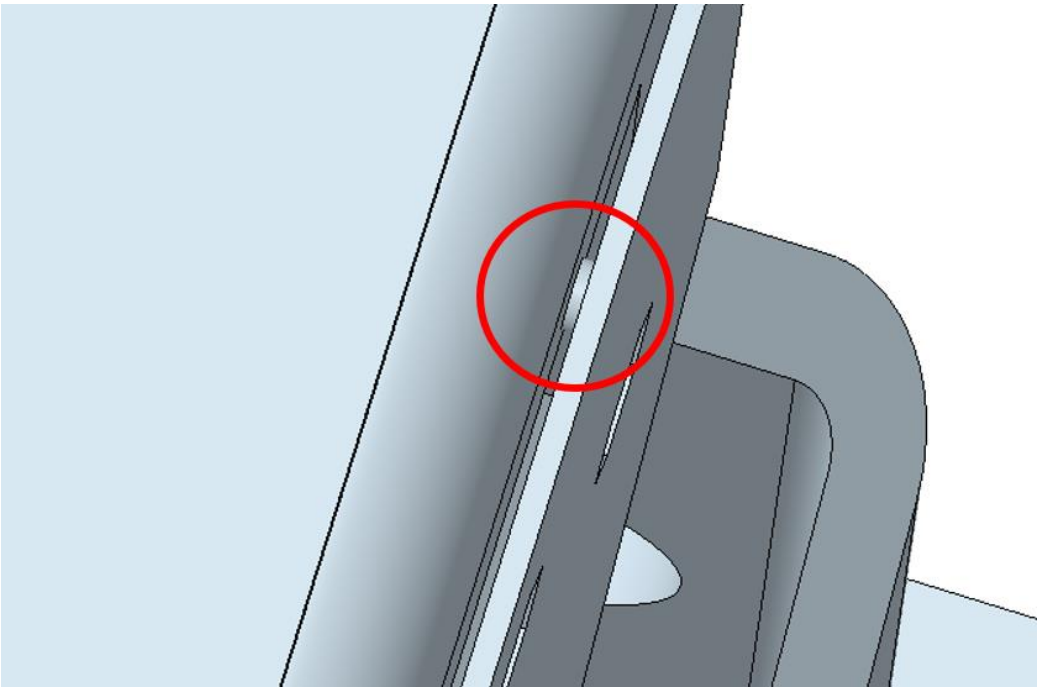


Abbildung 39: Darstellung der nachgestellten Blindnieten im FE-Modell

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4.2.1 Vernetzungseigenschaften

Die Vernetzungseigenschaften für die Modalanalyse werden so wie in Punkt 5.4.1.1 festgesetzt.

Der Sandkasten wird für die Vernetzung als 3D-Volumenkörper betrachtet. Dieser wird aus 20729 Tetraeder-Elementen erzeugt, mit 35596 Kanten und 48752 Seitenflächen. Der min. Kantenwinkel beträgt 5.00 Grad und der max. Kantenwinkel beträgt 170.08 Grad.

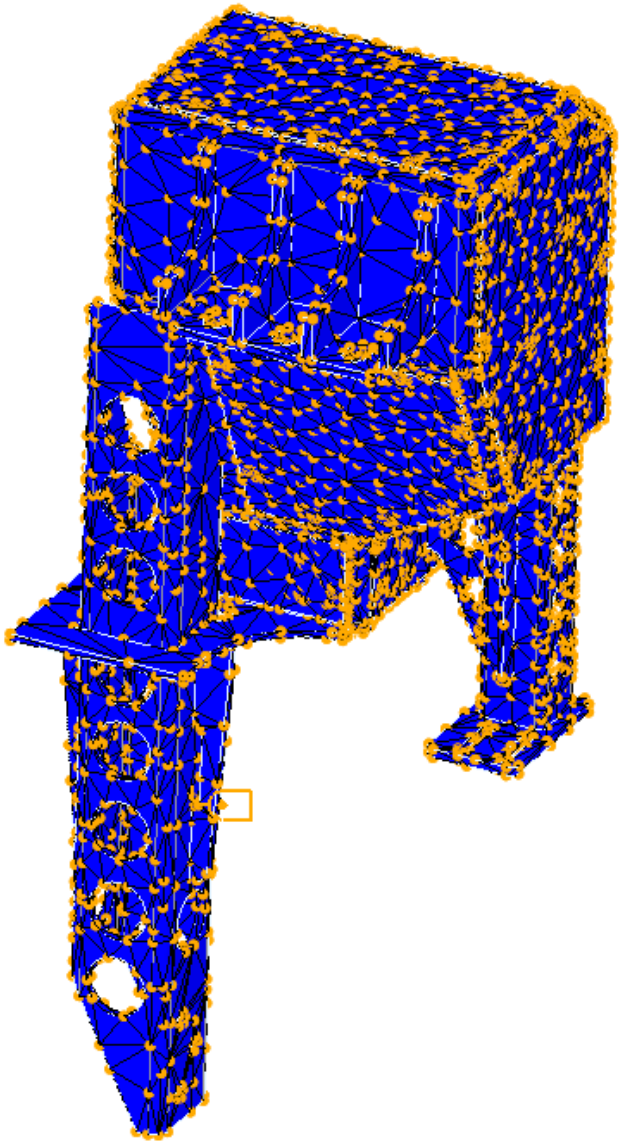


Abbildung 40: Vernetzungsmodell ALBI mit Seitenplatten

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4.2.2 Modalanalyse

Für den Versuch 2 wurden folgende Eigenfrequenzen ermittelt:

Mode	Frequenz in HZ
1	182,2
2	205,9
3	229,5
4	236,6
5	261,3
6	322,5

Tabelle 7: Eigenfrequenzen

Die ersten vier Eigenfrequenzen liegen innerhalb der maximalen Anregung nach EN 61373 Kat. 2 (siehe Abb. 32). Die Lastfälle wurden nach EN 61373 Kat 2 gewählt und auf die Struktur aufgebracht. (siehe Punkt 5.4.1.3)

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.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4.2.2.1 Verschiebung

Die Verformungen in den Modellen sind für eine bessere Betrachtung um den Faktor 10 erhöht.

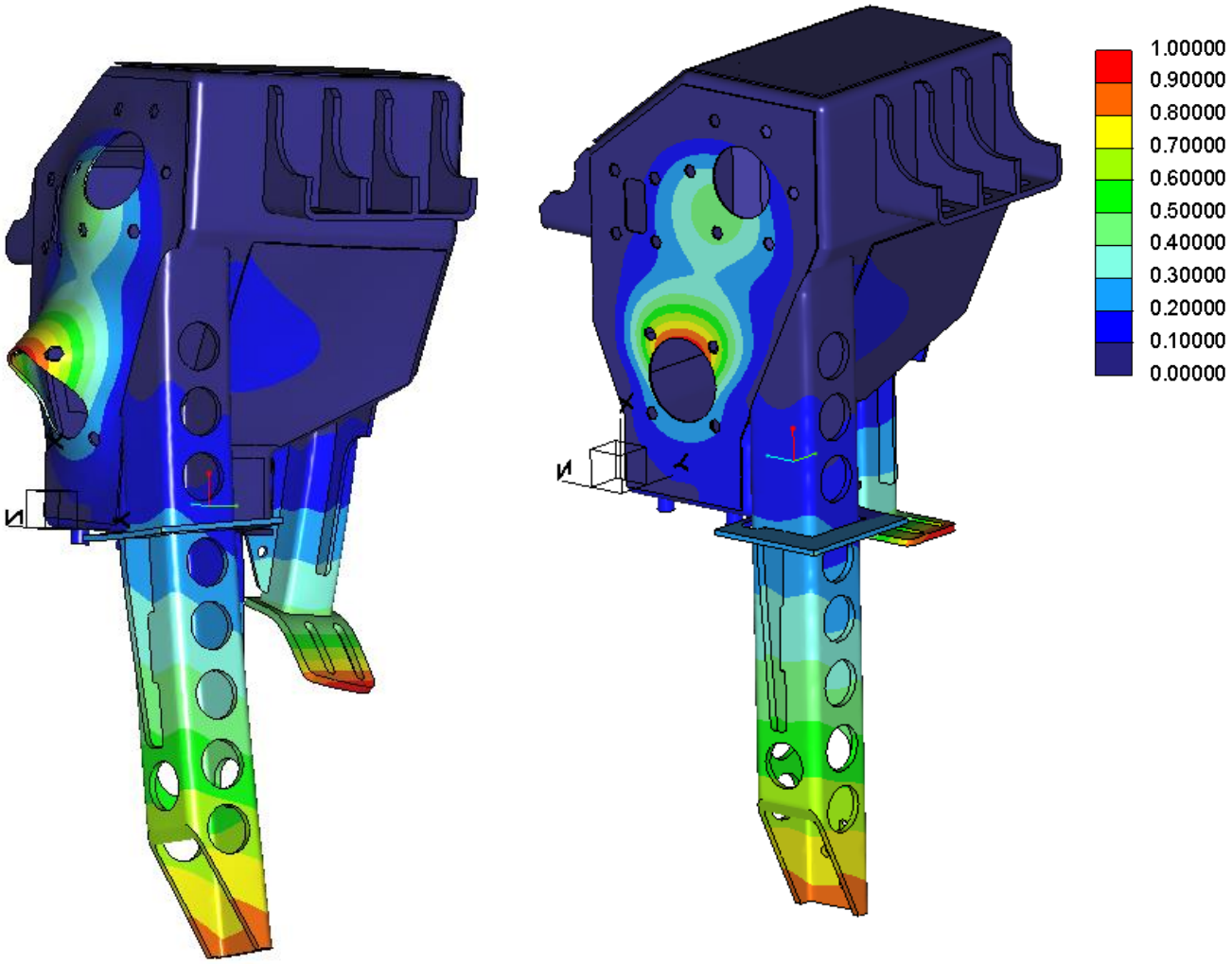


Abbildung 41: Verschiebungen im verformten (links) und unverformten (rechts) Zustand

Die maximalen Verschiebungen in diesem Modell (siehe Abb. 41) tauchen an denselben Stellen auf wie bei Versuch 1 (siehe Abbildungen 33 und 34). Zusätzlich kann man beobachten, dass an den Stellen, an denen die Sandungskomponenten angeschraubt werden, bis zu 10 mm Verschiebungen auftauchen. Dies bedeutet, dass die Stärke der Platte erhöht werden muss. Die Sandungskomponenten dürfen keine so große Verschiebung erleben.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.4.2.2.2 Spannung

Die Verformungen in den Modellen sind für eine bessere Betrachtung um den Faktor 10 erhöht.

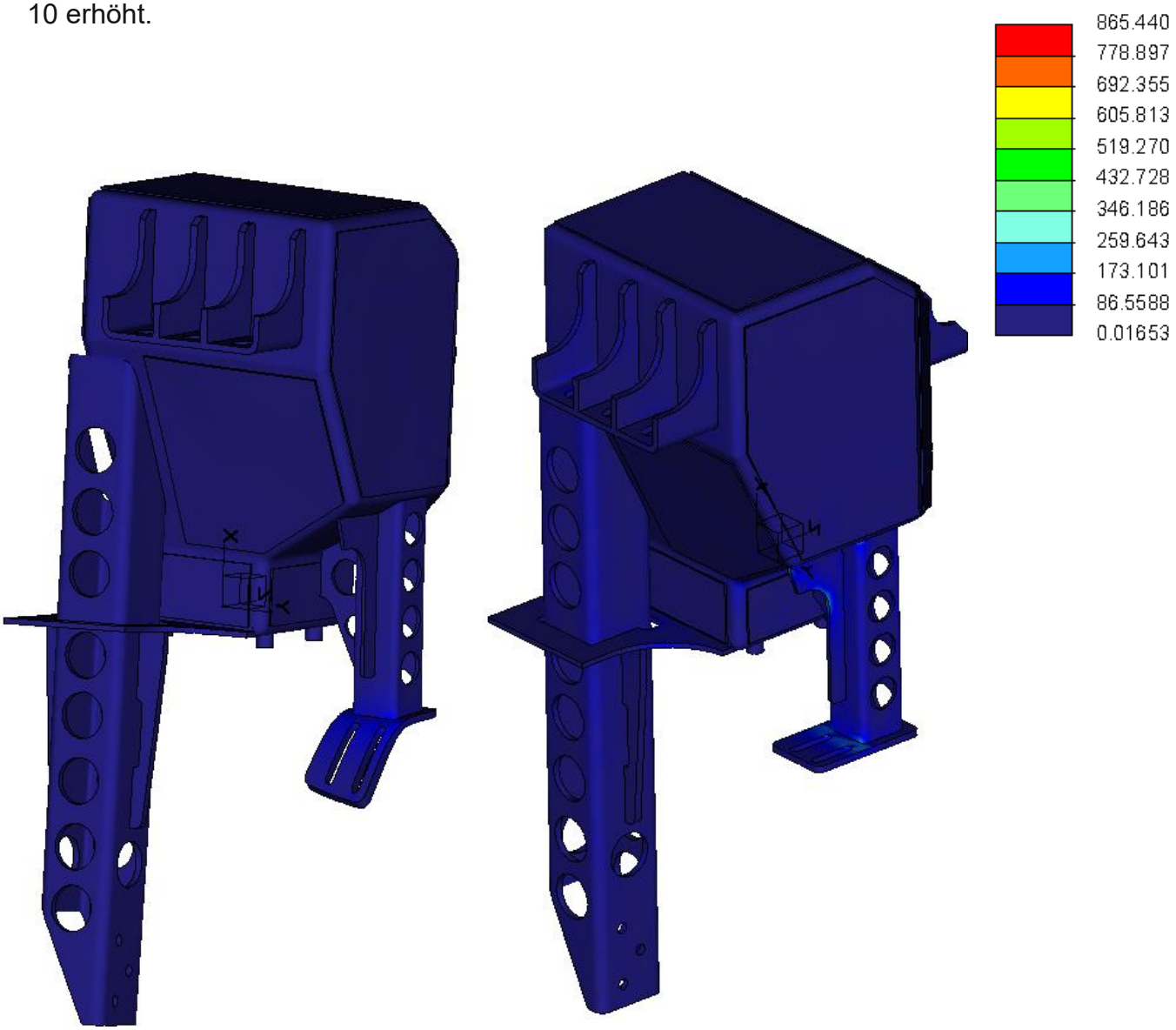


Abbildung 42: Spannung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht vorne

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

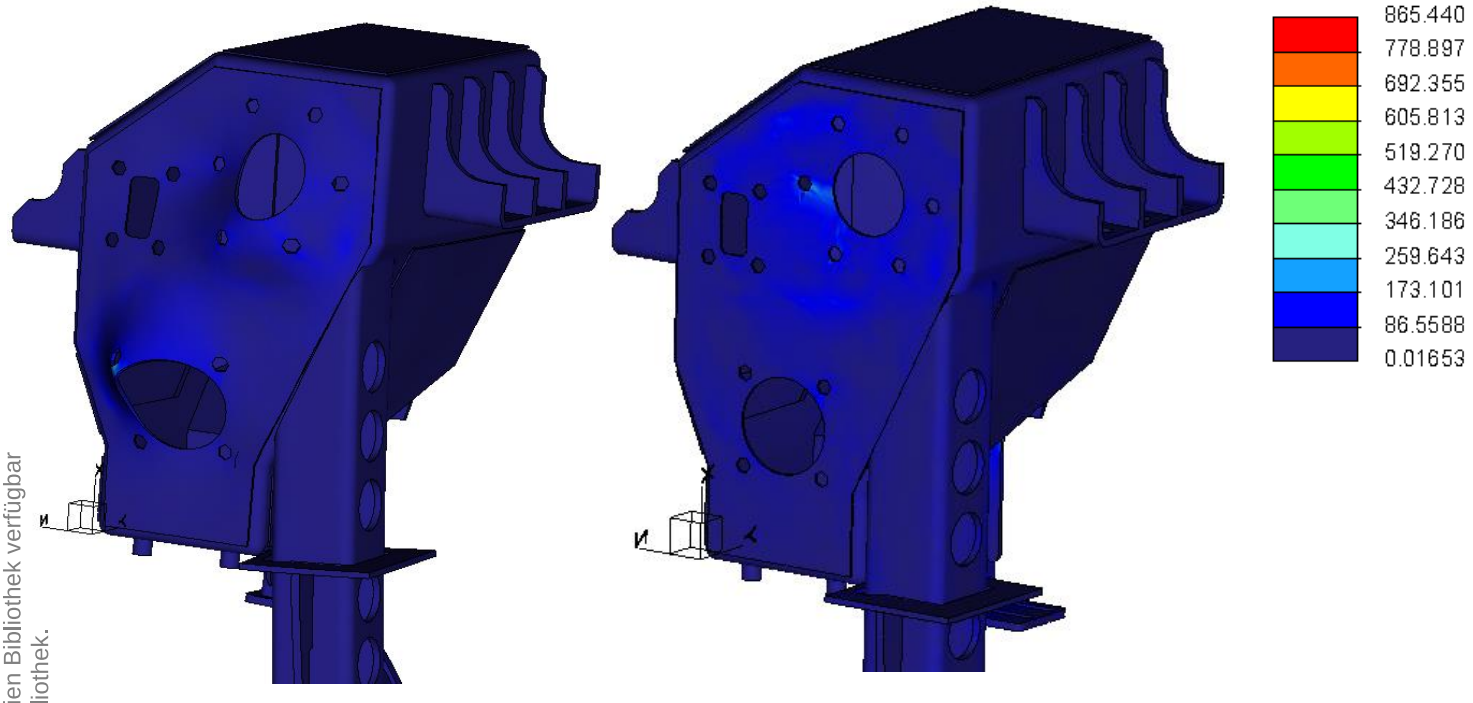


Abbildung 43: Spannung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht rechts

Die Spannungen in Versuch 2 befinden sich hauptsächlich an der kleinen Konsole. Dies kann man auch bei Versuch 1 beobachten (siehe Abb. 42 und 43). Die Spannungen erreichen einen maximalen Wert von 346.2 MPa.

Wie in Punkt 5.4.1.4 erwähnt wurde, lassen sich Punktlagerungen bzw. Angriffspunkte von Einzellasten im Modell nicht vermeiden. Diese sog. Punktlasten ergeben den in der Spannungsskala maximalen Wert 865.440 MPa (Abb. 42 und 43). Sie stellen eine Unsauberkeit in der Modellierung dar, die vernachlässigt werden kann, da diese Punktlasten in der Praxis nicht auftauchen.

Die Blechstärke von 1,5 mm reicht nicht aus, um das Gewicht der Sandungskomponenten unter den in EN 61373 Kat 2 vorgelegten Bedingungen auszuhalten.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.5 Winkelkonzept auf einem anderen Sandkasten PETI

In diesem Kapitel wird das Winkelkonzept auf einen Sandkasten der Firma Knorr-Bremse mit einfacherer Geometrie umgesetzt (siehe Kapitel 3.2). Die Geometrie besteht aus ca. 9 Ebenen (siehe Abb. 44 und 44). Die meisten Ebenen liegen senkrecht aufeinander, was bedeutet, dass die Konstruktion des Winkelkonzeptes leichter anzuwenden ist.

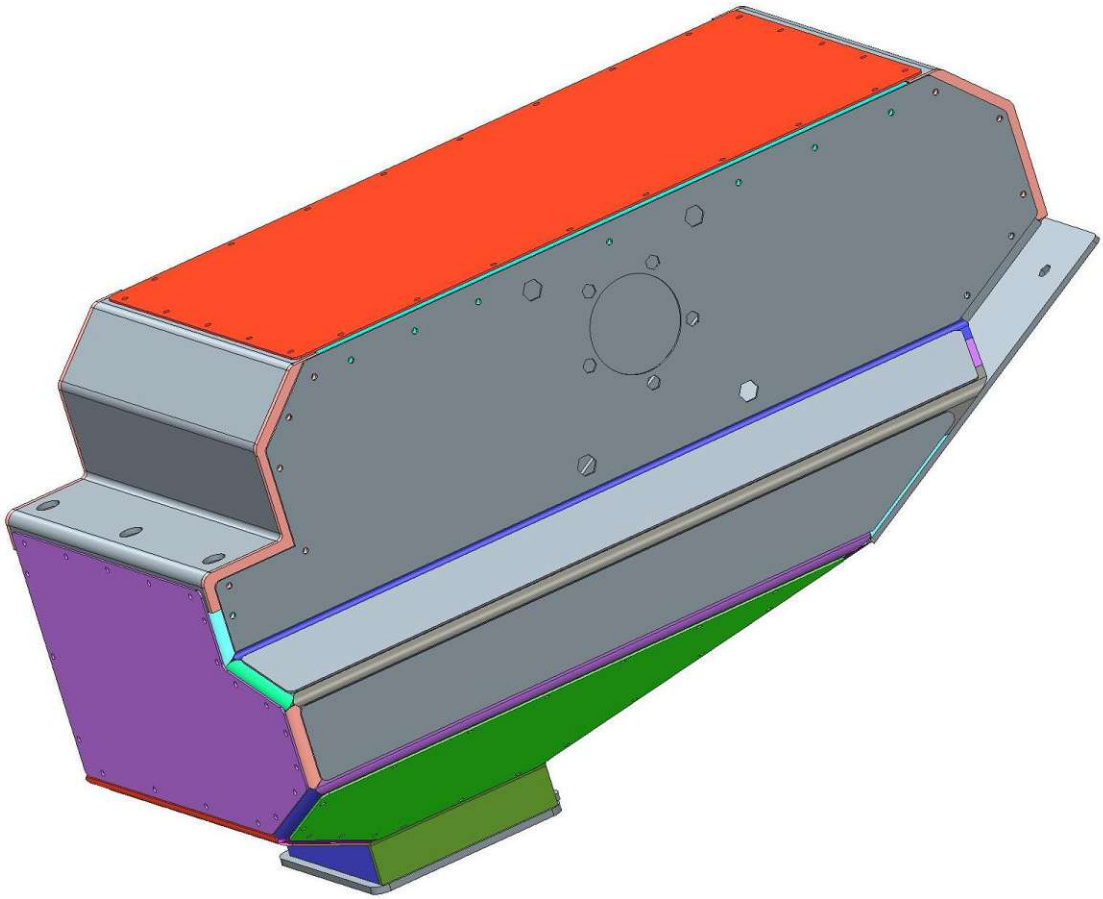


Abbildung 44: Sandkasten PETI Ansicht links

Das Konzept ist genau dasselbe wie beim Sandkasten ALBI, der Aufbau besteht aus einer zusammengeschweißten Winkelkonstruktion. Um die Dichtheit des Sandkastens garantieren zu können, werden Blechplatten mit einer Stärke von 1,5 mm an die Winkelkonstruktion mit M4-Blindnieten genietet.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

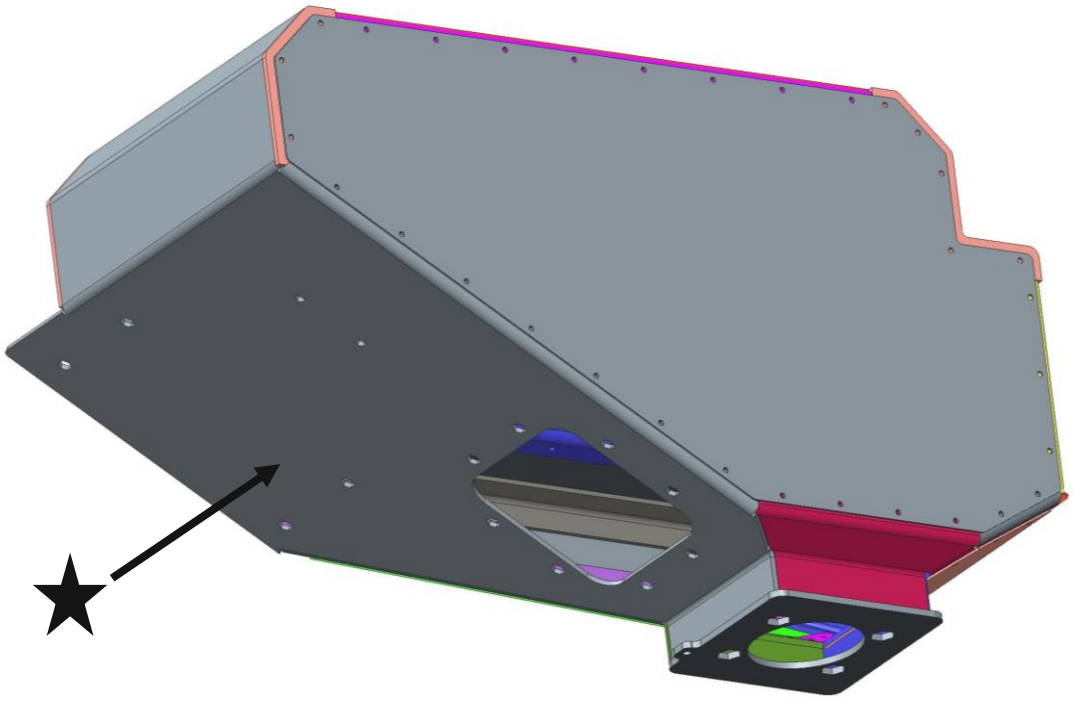


Abbildung 45: Sandkasten PETI Ansicht rechts

Die in Abb. 45 mit einem Stern markierte Platte besitzt eine Wandstärke von 4 mm, da diese nicht nur das Gewicht des Sandes halten muss, sondern auch die weiteren Sandungskomponenten (siehe Kapitel 3.2). Daher wird sie mit der Winkelkonstruktion zusammengeschweißt.

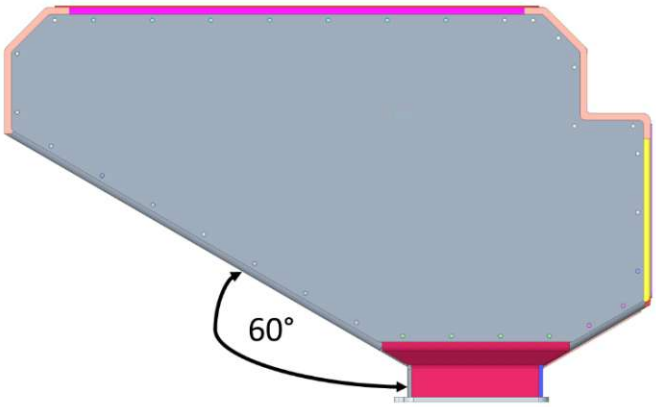


Abbildung 46: Sandkasten PETI Ansicht rechts

Alle schräg eingebauten Platten stehen 60° zur senkrechten Ebene (siehe Abb. 46), was die Komplexität der Konstruktion des Sandkastens reduziert.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5.5.1 **Korpus**

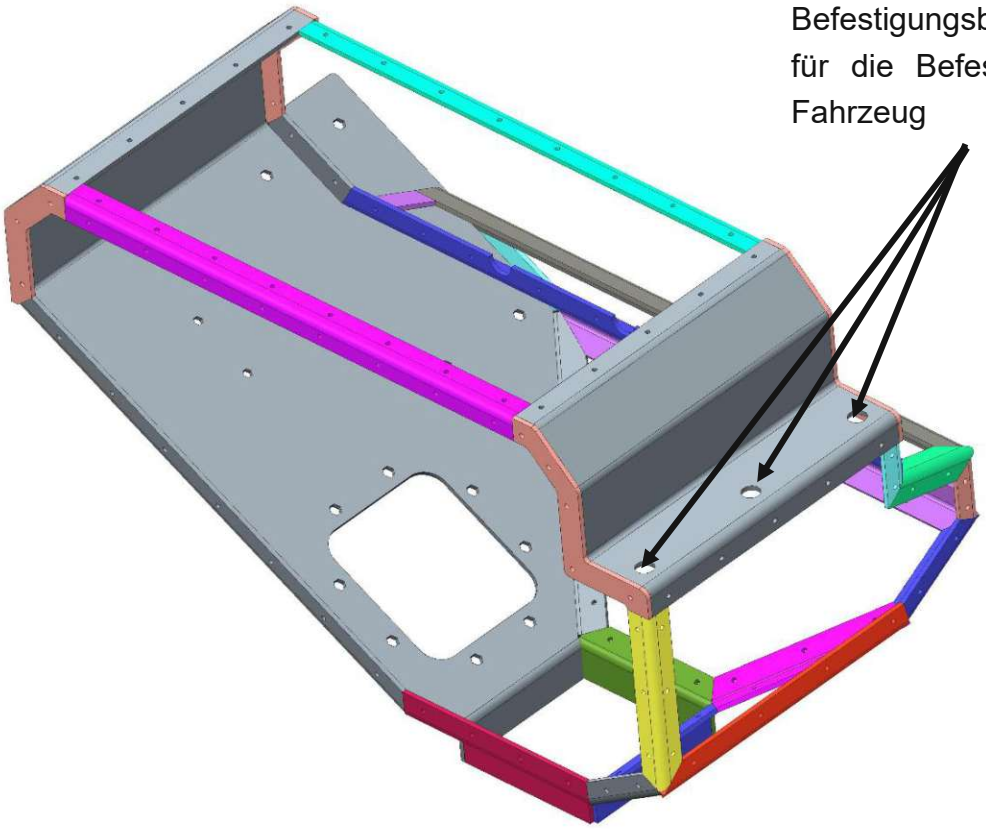


Abbildung 47: Korpus von Sandkasten PETI, Ansicht links

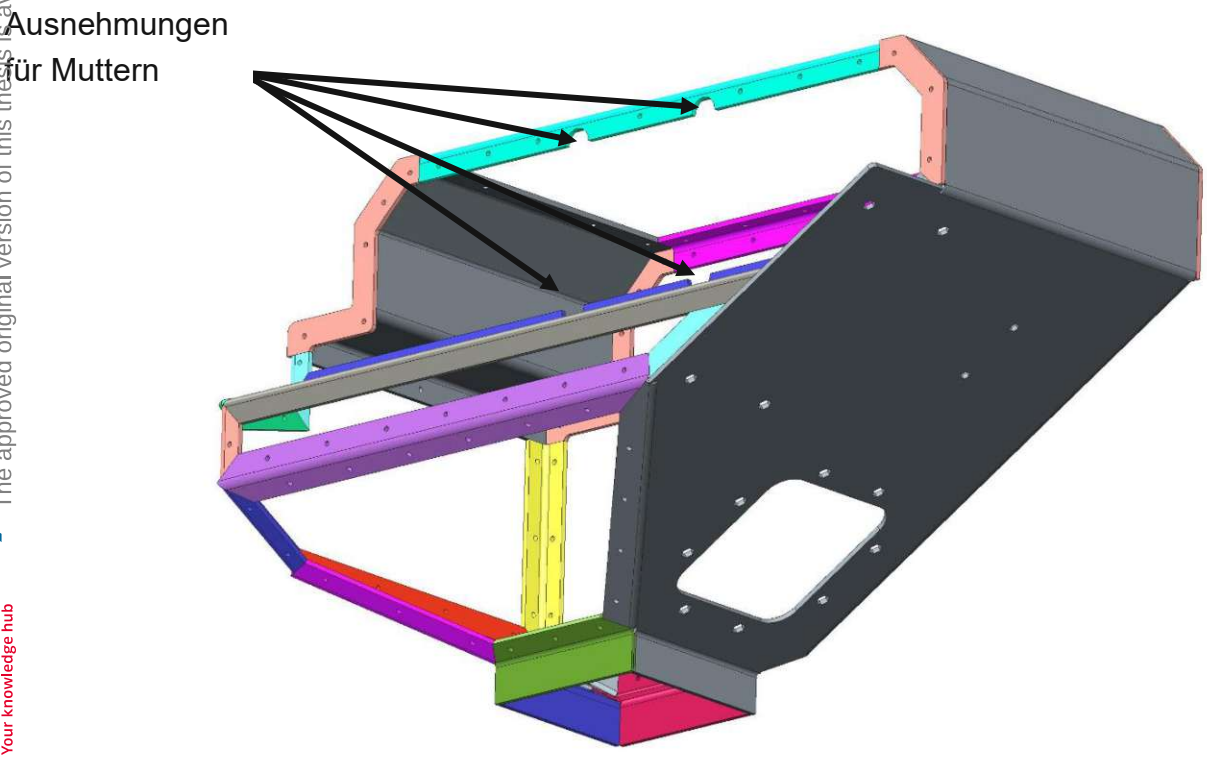


Abbildung 48: Korpus von Sandkasten PETI, Ansicht rechts

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die Winkelkonstruktion besteht aus 24 Teilen, davon sind 15 Winkel, 7 Laschen und 2 gebogene Bleche. In Abb. 48 kann man bei zwei der Winkel Ausnehmungen in Form von Halbkreisen erkennen. Diese mussten eingefügt werden, um genug Platz für die Muttern zu lassen, mit denen die Sandungskomponenten (Sandstandsensor, usw.…) festgeschraubt werden. An den Befestigungsbohrungen werden Blindnietmuttern angeschweißt, um den Kasten am Fahrzeug zu montieren.

5.5.2 **Bodenplatte**

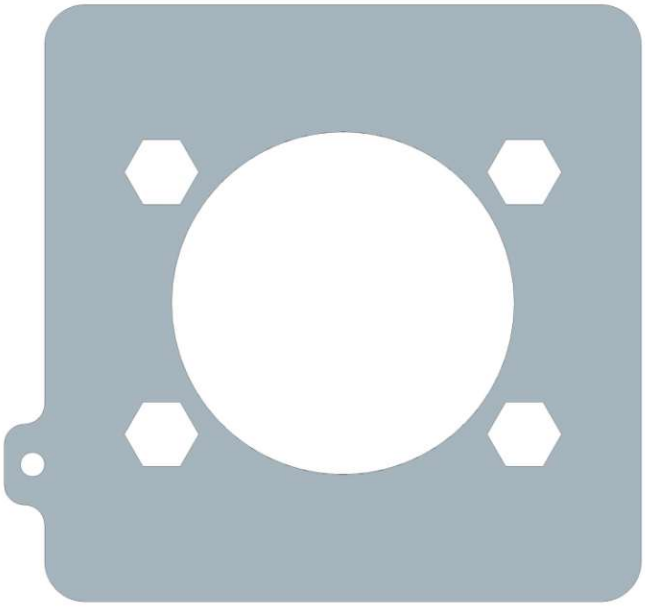


Abbildung 49: Bodenplatte Sandkasten PETI

Die Bodenplatte des Sandkastens PETI ist im Vergleich zum Sandkasten ALBI einfacher zu konstruieren. Sie ist nur für die Verschraubung der Sandungsanlage notwendig. Diese wird mit dem Sandkasten mit einer Kehlnaht a3,5 zusammengeschweißt und nicht genietet wie bei ALBI (siehe Kapitel 5.2). Sie besitzt eine Plattenstärke von 4 mm, um das Gewicht des Sandes im Kasten und der Sandungsanlage auszuhalten.

Aufgrund der hohen Kosten für die Realisierung des Winkelkonzeptes, insbesondere am Sandkasten ALBI, wurde die Weiterentwicklung abgebrochen. Aus diesem Grund ist eine Festigkeitsanalyse für den Sandkasten PETI nicht durchgeführt worden.

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

5.6 Probleme und Feststellungen

Nach mehreren Entwicklungsversuchen wurde festgestellt, dass das Winkelkonzept nach heutigem Stand der Technik leider noch nicht in der Praxis, als leistbare Option, durchzusetzen ist. Durch die Biegung der Laschen in den Blechplatten entstehen an den Ecken zu große Löcher. Diese Löcher sind so groß, dass man sie weder flüssig abdichten noch mit einer Schweißnaht verschließen kann.

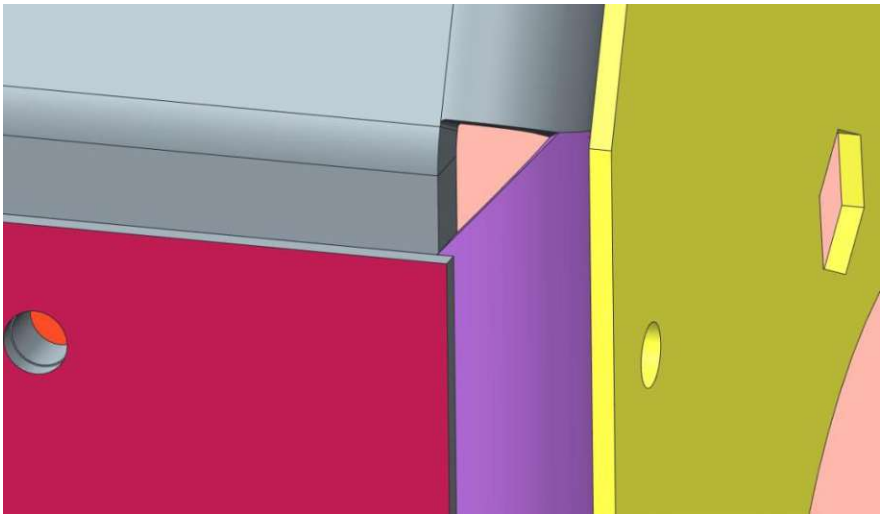


Abbildung 50: Nicht abgedichtete Ecke am Sandkasten ALBI

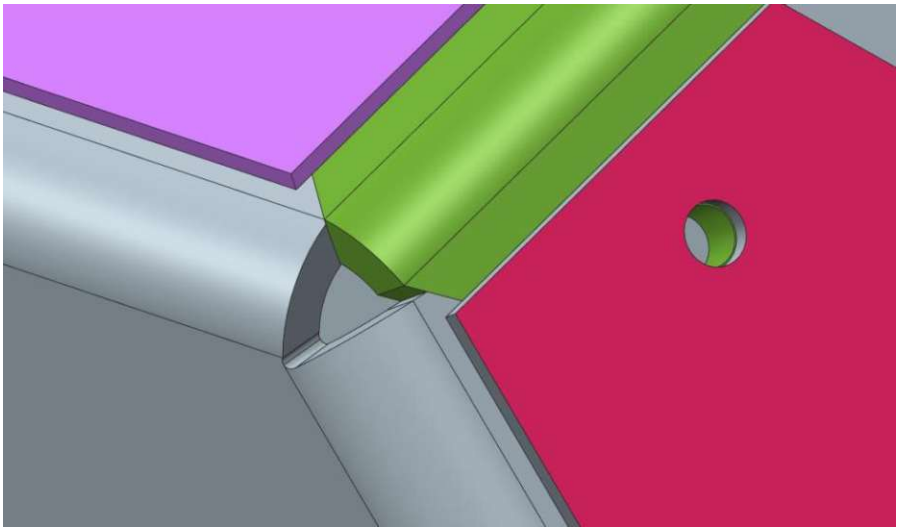


Abbildung 51: Nicht abgedichtete Stelle am Sandkasten ALBI

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Der Kasten wiegt zwar im Allgemeinen weniger als der original Honolulu-Sandkasten, ist aber in der Fertigung und Erstellung komplexer geworden. Der Korpus besteht aus ca. 40 verschiedenen Teilen, was die Konstruktion und Zusammenstellung komplexer macht. Der kleinste L-Winkel ist ca. 36 mm lang. Aufgrund der sehr kurzen Länge und daher kleiner Schweißnähte ist es nur möglich, roboterunterstützt zu schweißen. Die kürzeste Schweißnaht beträgt 19,211 mm. So eine Schweißnaht ist manuell unmöglich herzustellen.

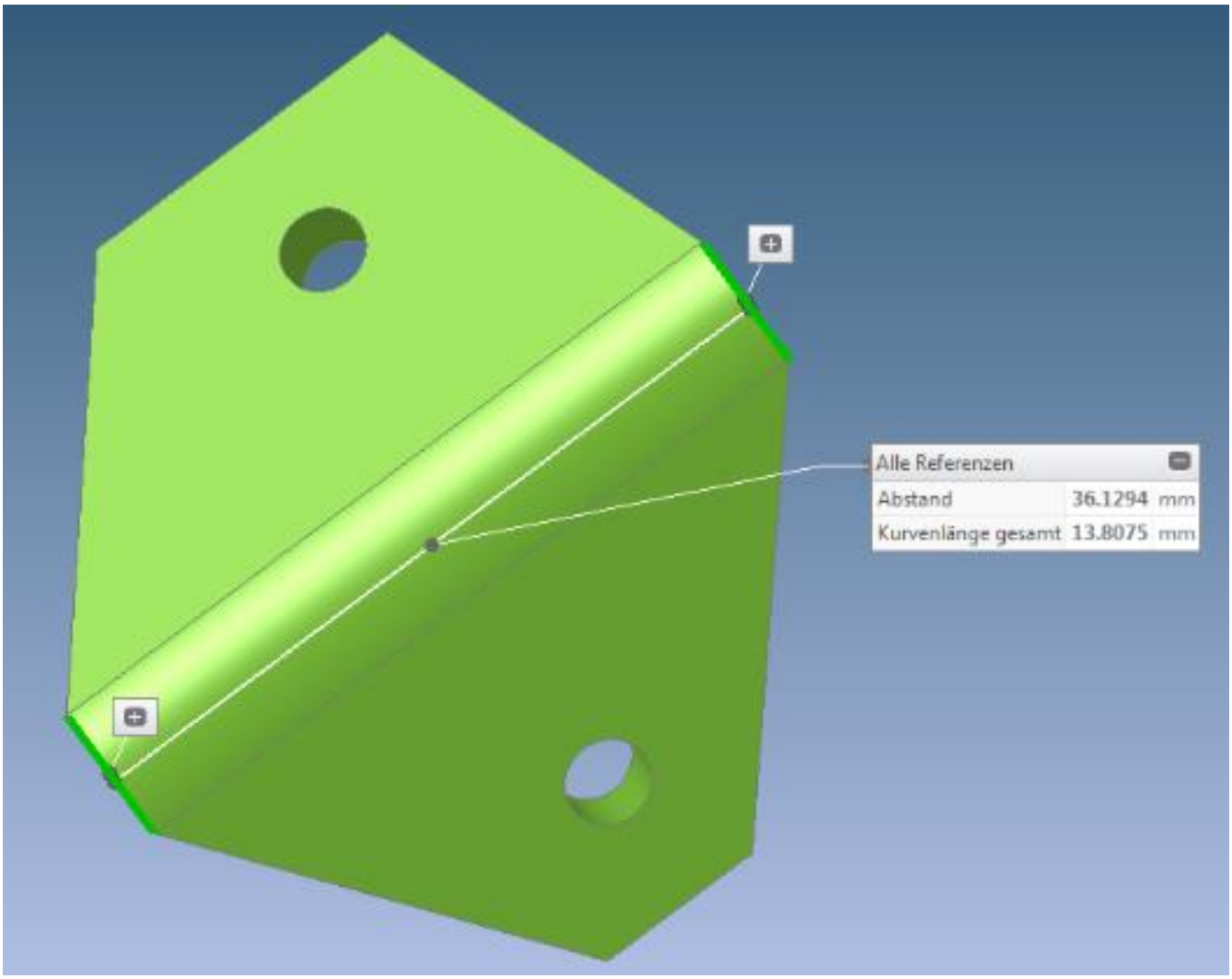


Abbildung 52: Kleinste Winkel des Korpus des Sandkastens ALBI

Den kompletten Sandkasten mit Hilfe eines Roboters zusammenzuschweißen würde zu hohe Kosten verursachen. Um den kürzesten Winkel mit dem Laser schneiden zu können, muss man sehr feine Toleranzen angeben, was die Kosten auch erhöhen würde. Aus diesen Gründen hat sich die Firma entschieden, das Konzept nicht weiter zu verfolgen und zu einem neuen Konzept überzugehen.

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

6 Zweites Konzept: Sandkasten COLI

In diesem Kapitel wird das zweite Konzept vorgestellt und erklärt. Als erstes wird der Sandkasten zur besseren Betrachtung aus verschiedenen Perspektiven dargestellt. Die CAD-Konstruktion ist ebenfalls in Creo Parametrics modelliert worden.

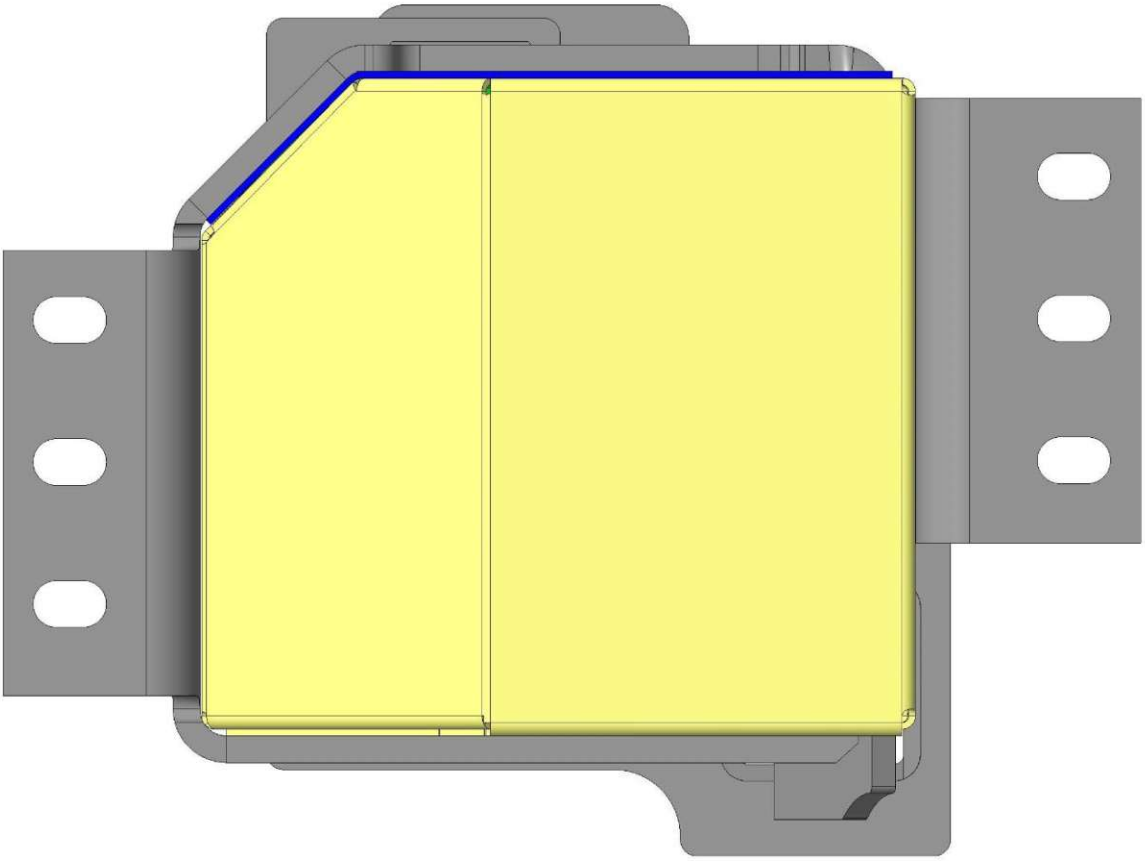


Abbildung 53: Sandkasten COLI, Ansicht von oben

In der Abb. 53 kann man die Befestigungspunkte des Sandkastens gut erkennen. Wie beim ersten Konzept (ALBI) dürfen sich diese Befestigungsbohrungen nicht ändern. Die 6 Langlöcher besitzen dieselben Bemaßungen wie der Sandkasten Honolulu (siehe Kapitel 4.2).

In Abb. 54 sieht man, wie der Korpus (gelbe und blaue Bleche) in das Gerüst (graues Blech) hineinpasst.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

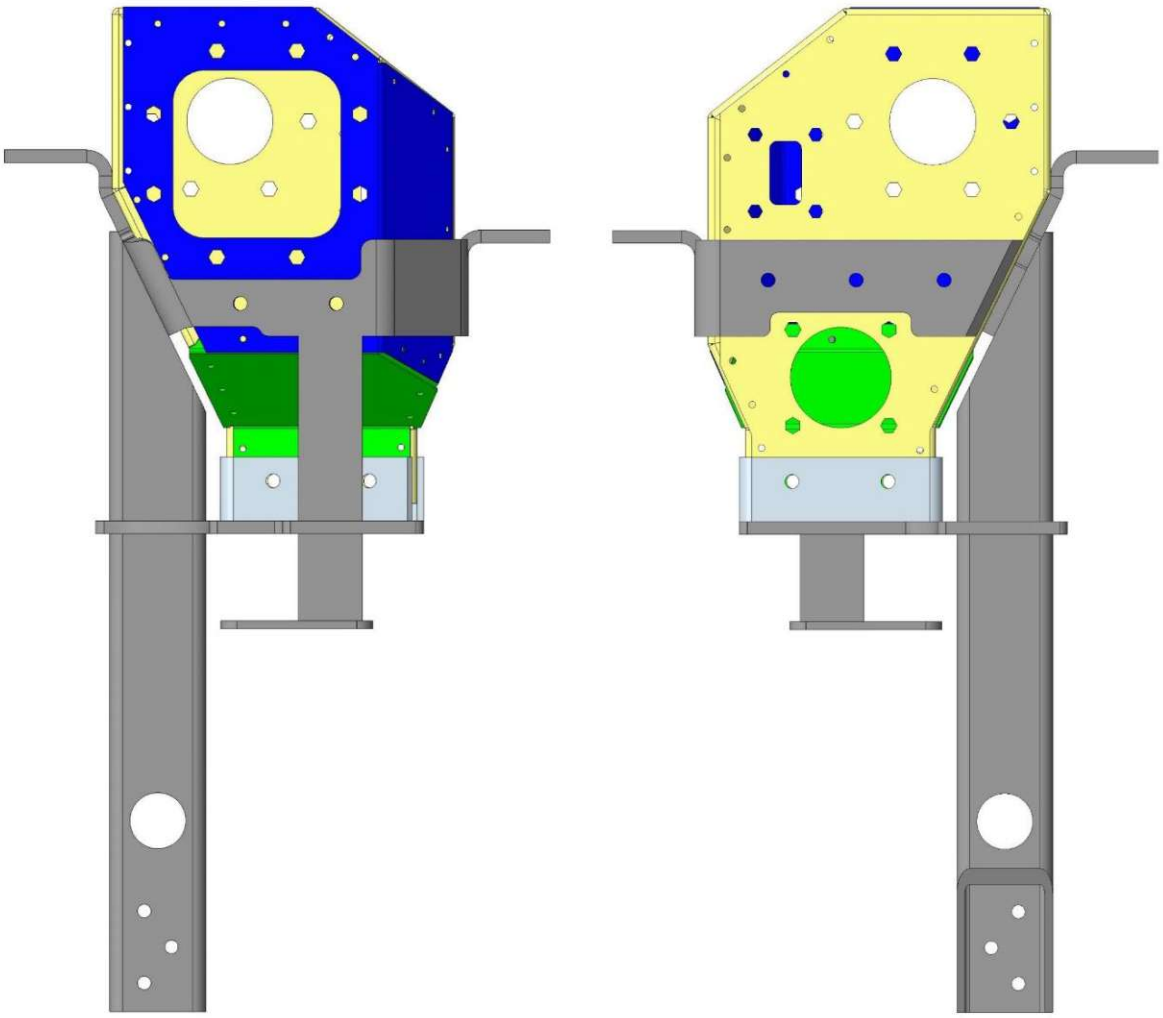


Abbildung 54: Sandkasten COLI, Ansichten links und rechts

Die verschiedenen Farben, die man in der Abb. 54 erkennen kann, sollen die drei Platten (gelb, blau und grün) darstellen, aus denen der Korpus gebaut ist. Das „Gerüst“, an das der Korpus gebunden ist, wird grau dargestellt. Die Bohrungen, die man zusätzlich erkennen kann, sind für die Nieten, die den Korpus mit dem Gerüst zusammenhalten, bzw. für verschiedene Schrauben, um die Sandungskomponenten mit dem Sandkasten verbinden zu können.

Die Abb. 55 zeigt den Sandkasten aus einer isometrischen Perspektive. In dieser sind die Bodenplatte und weitere Komponenten besser zu erkennen.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

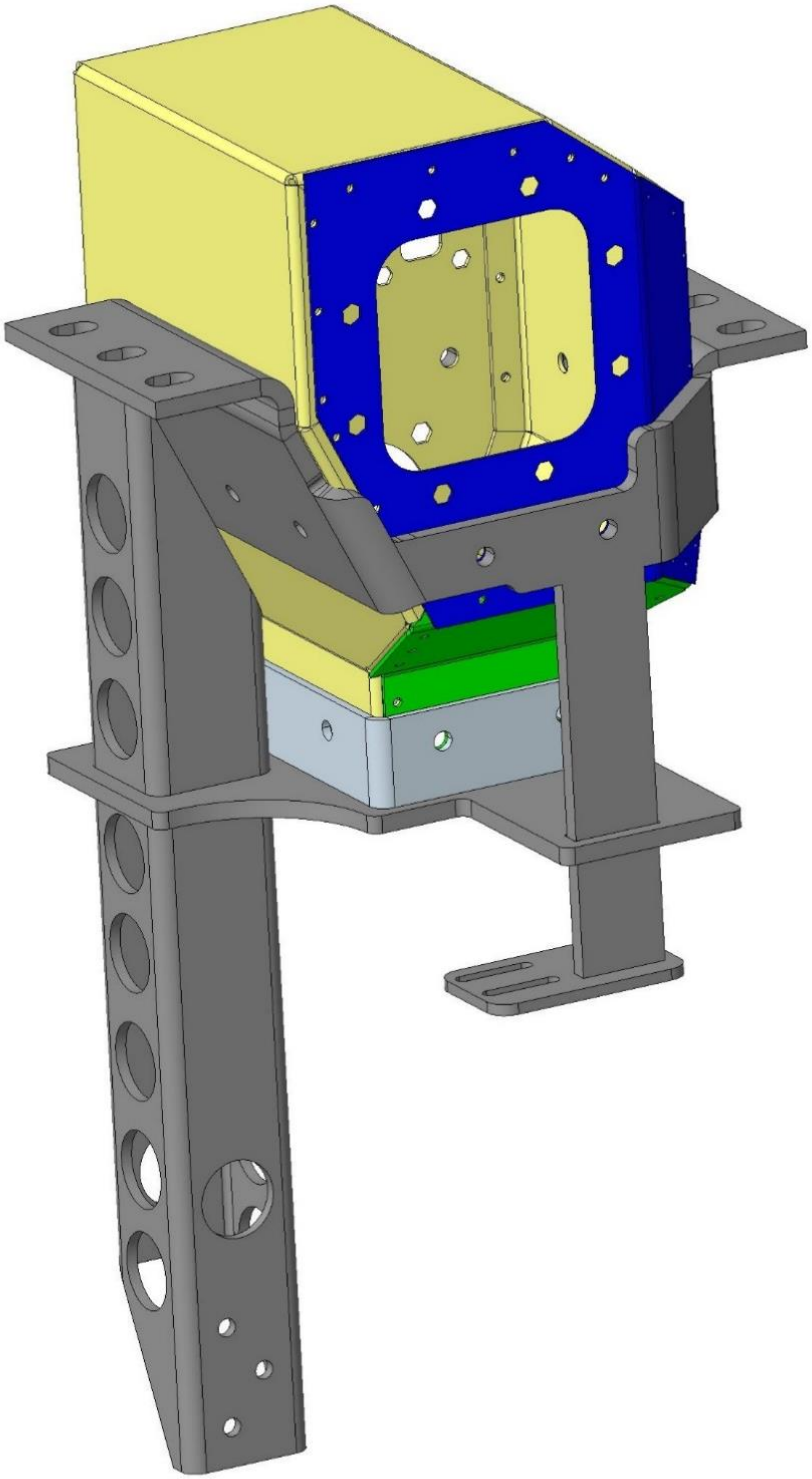


Abbildung 55: Sandkasten COLI, isometrische Ansicht

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.

6.1 Skelettbauweise

Der Begriff „Skelettbau“, auch Gerippebau oder Gliederbau genannt, wird in der Architektur und im Bauwesen als eine Art von Tragwerk eines Bauwerkes definiert (siehe Abb. 54). (lernhelfer.de, 2019) Die Skelettbauweise gehört zum Hochbaukonzept. Dieses beschäftigt sich mit der Planung und Errichtung von Bauwerken, die zum Großteil oberhalb der Geländelinie liegen. Typische Beispiele dafür sind Wohnhäuser oder Türme. Im Gegenteil dazu werden Bauwerke, die sich unterhalb oder sogar auf der Geländelinie befinden, dem „Tiefbau“ zugeordnet. (Grütze, 2007, S. 126)

Bei der Skelettbauweise wird die Standfestigkeit des Bauwerkes durch die Aufspaltung der Last in immer kleinere Anteile erreicht. Diese können durch einzelne Tragelemente aufgefangen werden. Ein Rahmengerüst trägt die entlasteten, gespannten Wände der Konstruktion. Das tragende Skelett ist auch für die Bestimmung der Form des Körpers verantwortlich. Das Skelett kann aus Holz (zum Bsp. Fachwerkbau), Stein (zum Bsp. Sakralbauten), Stahl (zum Bsp. Eiffelturm in Paris) oder Stahlbeton (siehe Abb. 56) bestehen. (lernhelfer.de, 2019)

Abbildung 56: Stahlbetonskelettbau (Hausjournal, Stand 2020)

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

6.2 Das Gerüst

In diesem Modell versucht man die Skelettbauweise, die in Kapitel 6.1 erklärt wurde und bis jetzt hauptsächlich nur auf Baukonstruktionen angewendet wird – in die Sandkastenkonstruktion zu übertragen. Somit wird zuerst ein Gerüst erstellt, an dem dann der Korpus befestigt wird. Das bedeutet, dass das Gerüst die gesamte Kraft trägt und dem Korpus nur die Funktion eines Sandbehälters überlässt. In Abb. 57 ist das Gerüst vom Sandkasten COLI zu sehen. Die Befestigungsbohrungen sind an derselben Stelle und besitzen dieselben Maße wie der Honolulu-Sandkasten.

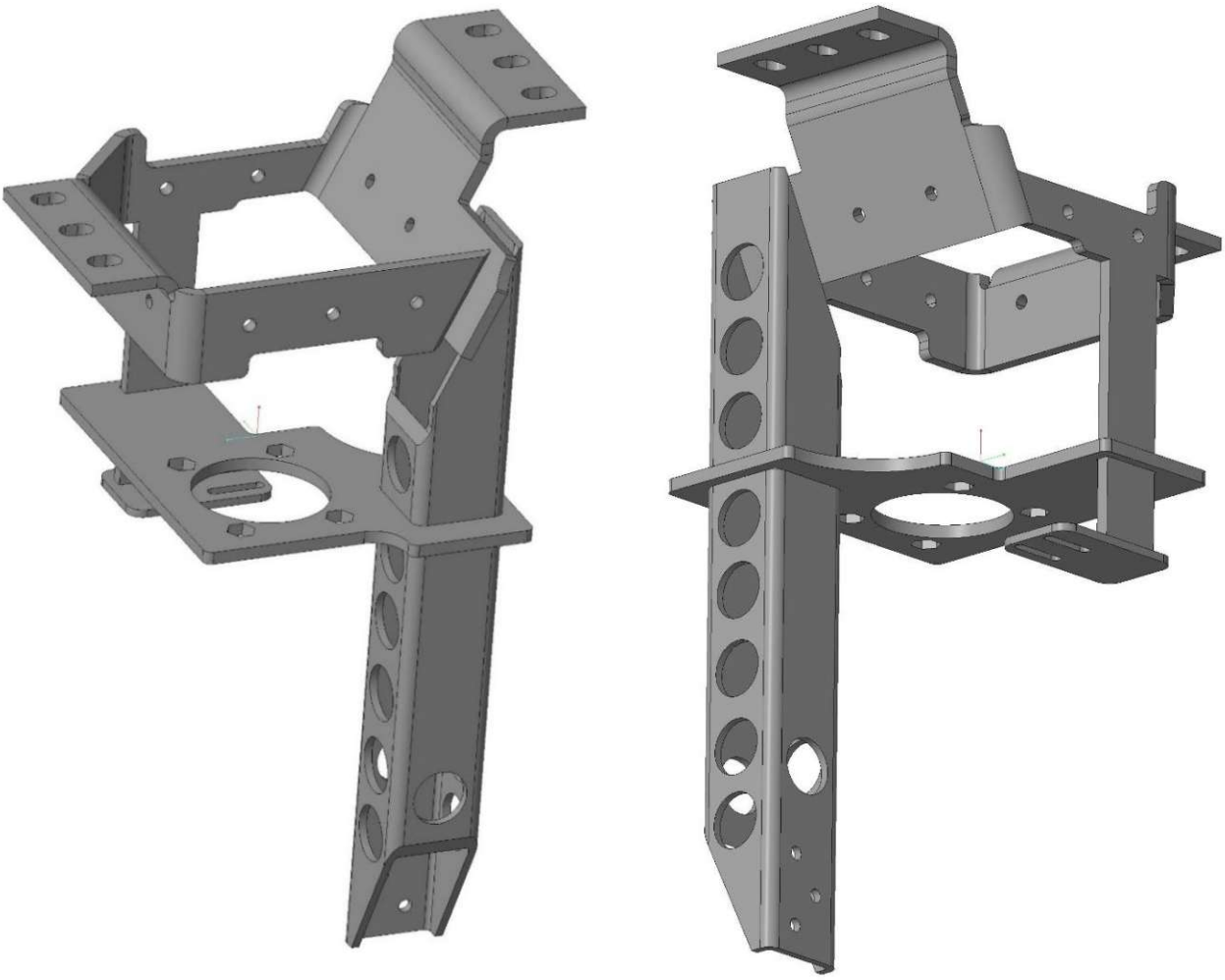


Abbildung 57: Gerüst von Modell COLI

Die Stärke der Bleche beträgt 8 mm. Das Gerüst besteht aus 4 Teilen, wobei für die Kraftaufnahme nur 3 Teile nötig sind. Das Gerüst soll nach DIN EN 15085 – 3 zusammengeschweißt werden. Die dafür vorgesehenen Stellen und Schweißnähte sind in Abb. 58 und 59 dargestellt. Bis auf die a4-ungeschliffene Kehlnaht sind alle anderen Ringsum-Nähte.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

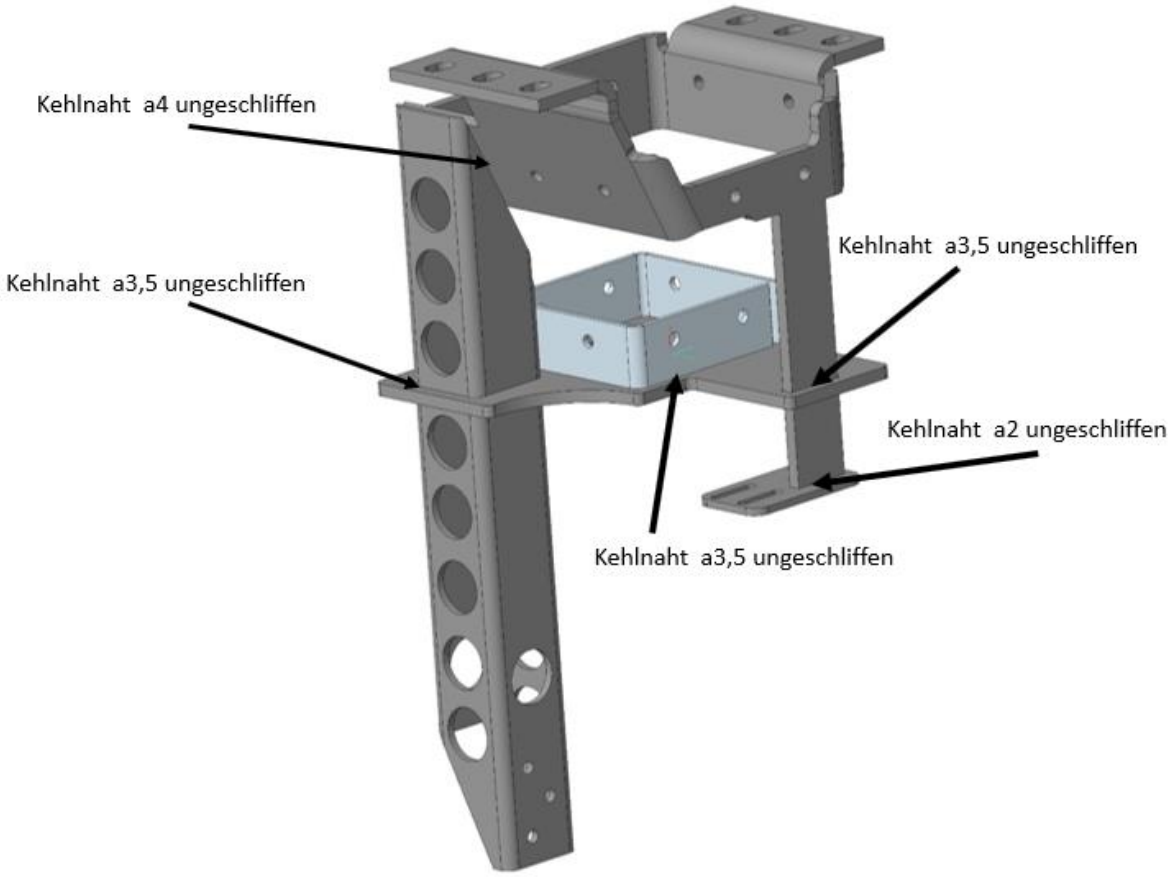


Abbildung 58: Sandkasten COLI mit Schweißnaht-Bezeichnung

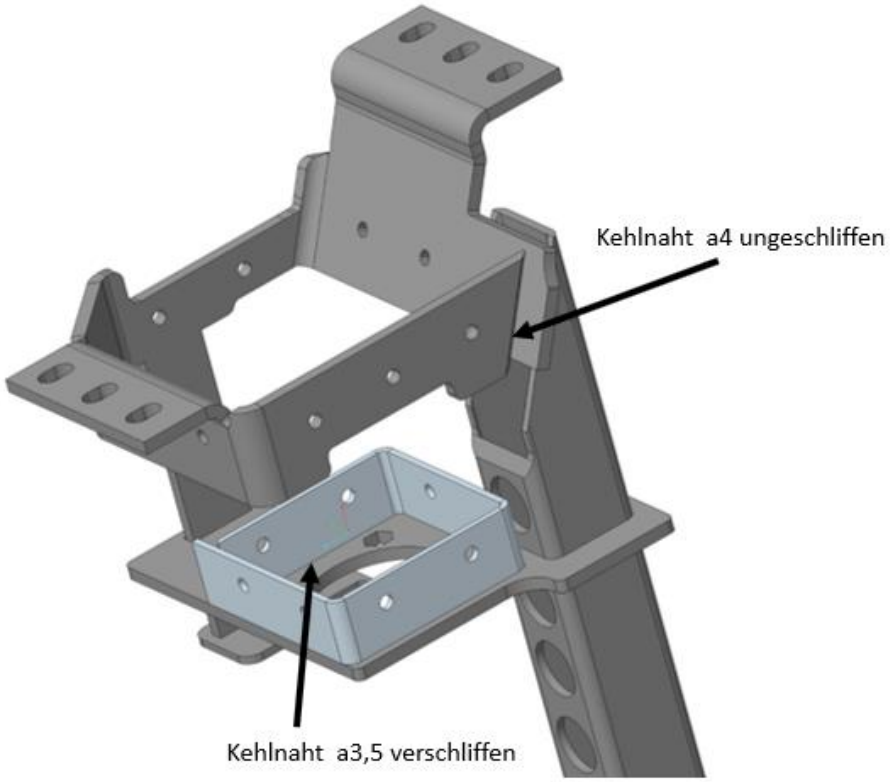


Abbildung 59: Sandkasten COLI mit Schweißnaht-Bezeichnung

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die Bodenplatte wird, wie beim Sandkasten ALBI, an die Sandungsanlage SDN31.1 angepasst und angefertigt. Bei diesem Konzept ist die Bodenplatte ein wichtiger Teil des Gerüsts. Diese ist nicht nur mit der großen Konsole, sondern auch mit der Lasche, die die kleine Konsole ersetzt, verschweißt (siehe Abb. 57 und 58). Dies sollte mehr Stabilität ins Gerüst bringen. Zusätzlich wird ein gebogenes Blech (in Abb. 58 und 59 in Hellgrau zu sehen) an der Oberfläche der Bodenplatte angeschweißt. Dieses ist für die untere feste Bindung mit dem Korpus relevant. Das Blech muss 3 Mal in einem 90°-Winkel gefaltet werden, bevor es mit der Bodenplatte zusammengefügt wird. Das Blechteil besitzt eine Stärke von 3 mm und hat sieben M8-Bohrungen für die Blindnietmuttern der Firma Böllhoff (siehe Kapitel 6.3). Die Bodenplatte ist mit einer Stärke von 8 mm gebaut.

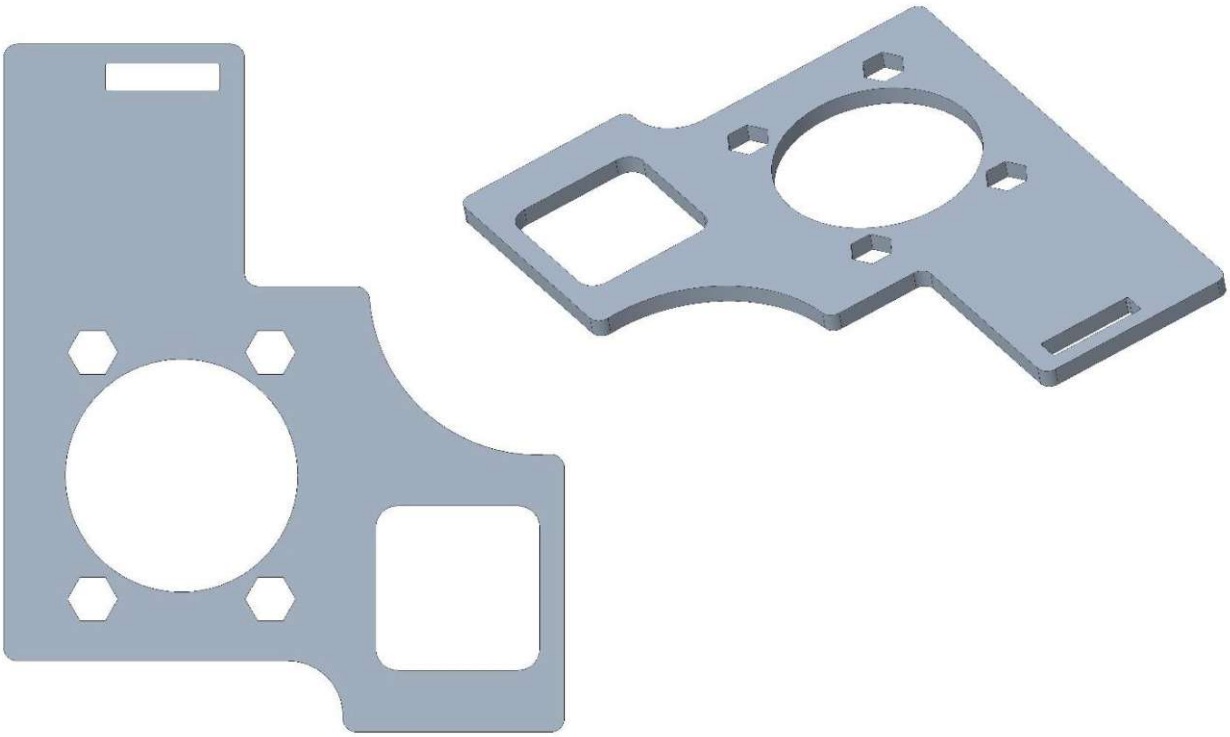


Abbildung 60: Bodenplatte vom Sandkasten COLI. Ansicht von oben (links) und isometrische Ansicht (rechts)

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

6.3 Korpus

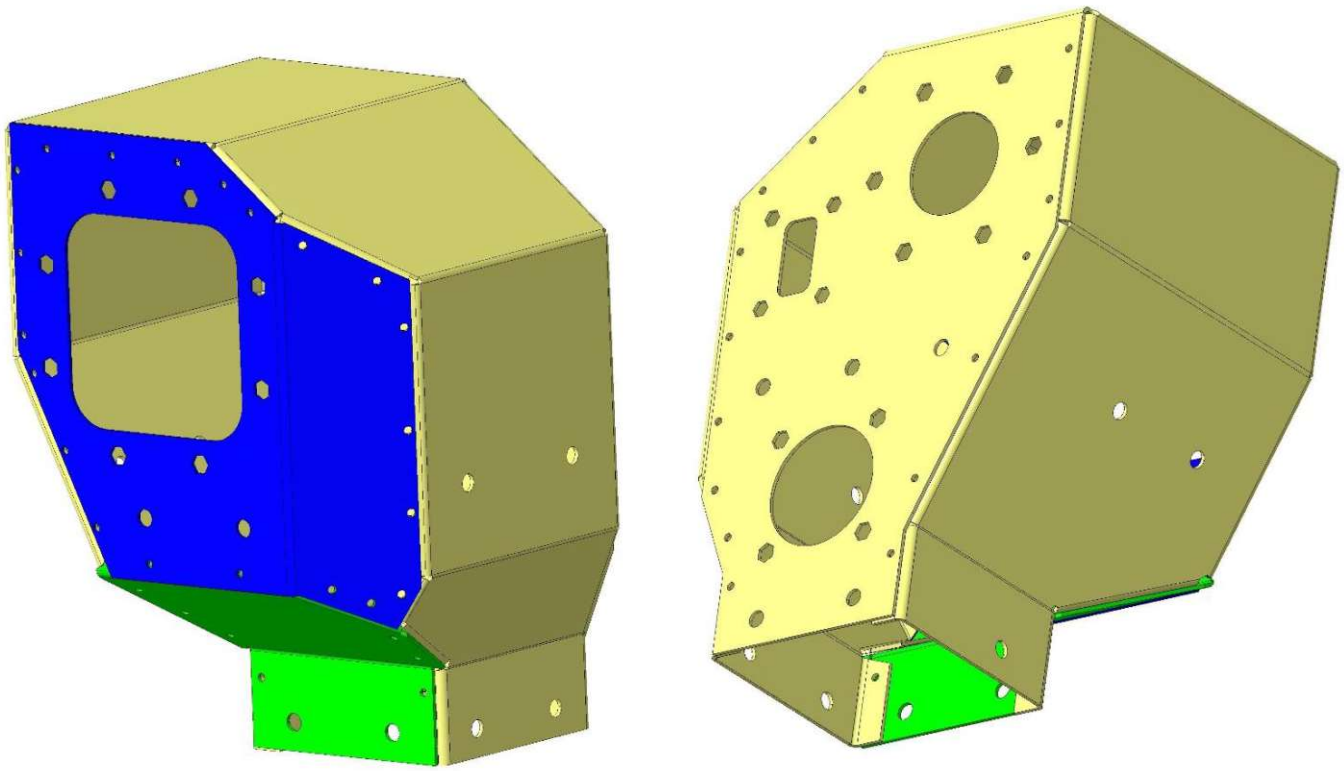


Abbildung 61: Korpus des Sandkasten COLI

Der Korpus besteht aus drei verschiedenen Blechen. An diese Bleche sollen, wie beim Sandkasten ALBI, M4-Teilsechskant geschlossene Blindnietmuttern der Firma Böllhoff angebracht werden (Böllhoff & Knorr-Bremse, 2018).

Die Stärke der Bleche beträgt 2 mm, somit wird das Gewicht des Korpus niedrig gehalten (ca. 4 kg). Dies ist möglich, da der Korpus nur das Gewicht der Sandungskomponenten (Sandkastendeckel, Sandstandsensor, Schauglas etc…) und keine großen äußeren Kräfte tragen muss. Er soll nur als dichter Sandbehälter funktionieren.

Der Korpus wird getrennt vom Gerüst zusammengebaut. Danach wird er mit dem Gerüst verbunden, oben durch neun M8-Teilsechskant geschlossene Blindnietmuttern und unten durch sieben. Alle Blindnietmuttern sind ebenfalls von der Firma Böllhoff produziert worden (Böllhoff & Knorr-Bremse, 2018).

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

6.4 Festigkeitsanalyse

In diesem Kapitel wird die FE-Analyse in Form einer Modalanalyse dargestellt. Die Analysen wurden mit „Creo Simulate Tool“ durchgeführt.

Der Sandkasten beinhaltet die gesamte Blechkonstruktion als Volumenkörper. Der Sandkasten wurde als Kraft im Modell mit einer Masse von 13 kg im Berechnungsmodell berücksichtigt.

Als Material wurde austenitischer Stahl X5CrNi18-10 mit folgenden Werten definiert. Die Materialeigenschaften wurden der FKM-Richtlinie entnommen (Rennert, Kullig, Vormwald, Esderts, & Siegele, 2012):

Bezeichnung	Symbol	Werte	Einheit
Dichte	ρ	7850	kg/m^3
E-Modul	E	200000	MPa
Querkontraktionszahl	v	0,3	-
Streckgrenze	R_p	220	MPa
Zugfestigkeit	R_m	520	MPa
Zug- Druck Wechselfestigkeit	$\sigma_{W,zd}$	210	MPa

Tabelle 8: Werkstoffdaten

Für die FE-Modalanalyse wird die Blechkonstruktion des Korpus mit dem Gerüst untersucht.

Das FE-Modell wurde mit folgenden Massen berechnet:

1. Korpus aus Blechkonstruktion = 3,9 kg
2. Das gesamte Gewicht des Gerüsts = 9,1 kg
3. Inspektionsdeckel = 0,301 kg
4. Das Gewicht der Sandungsanlage = 2,2 kg
5. Das Gewicht vom Schlauch mit Befestigung = 0,8 kg
6. Das Gewicht am Fuß = 1,5 kg
7. Das Gewicht des Sandes = 15,4 kg

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

8. Schauglas = 0,127 kg
9. Sandstandsensor = 0,635 kg
10. Einfüllklappe = 0,864 kg

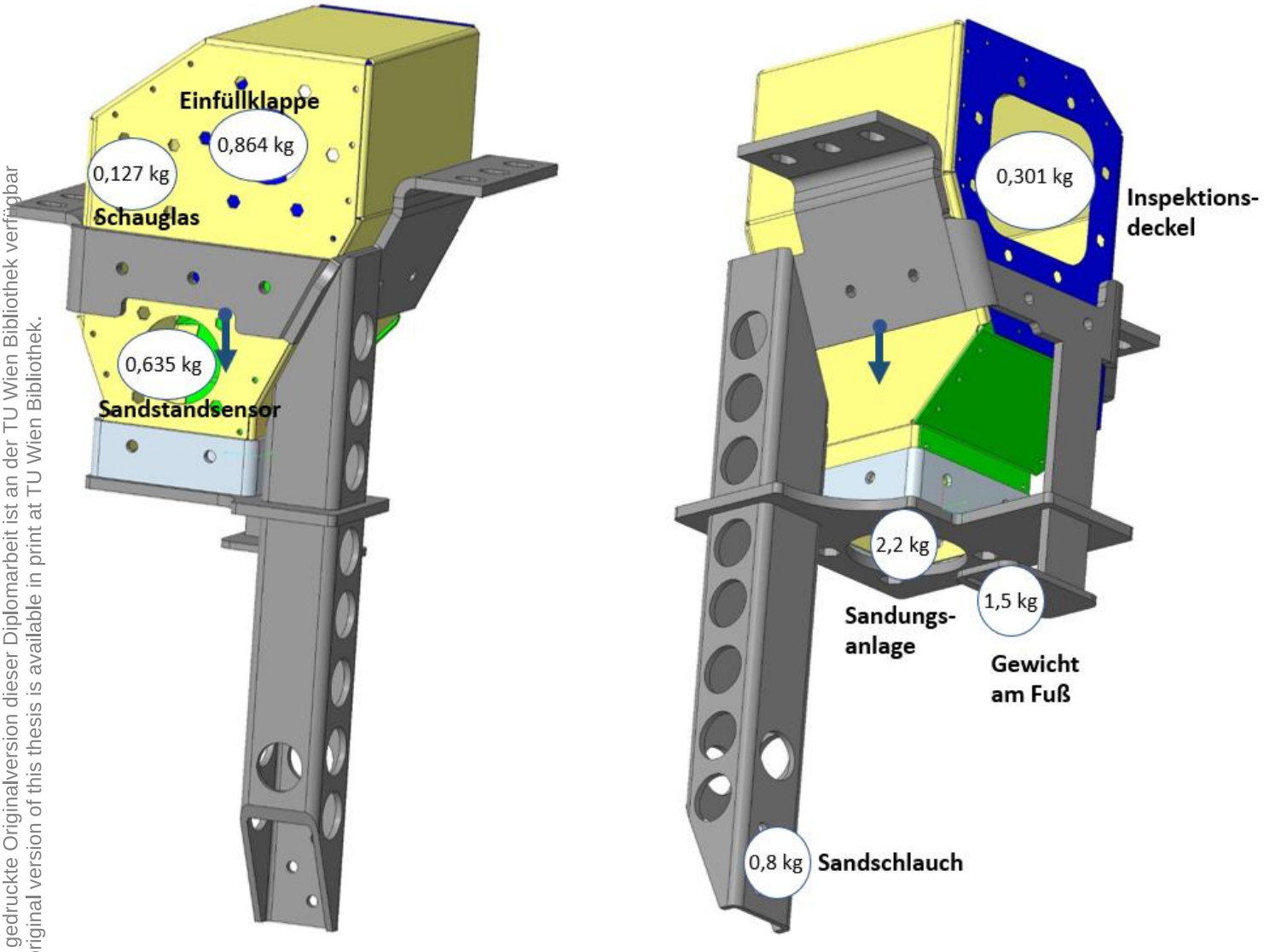


Abbildung 62: Zusätzliche Gewichte am Modell COLI

Der blaue Pfeil in Abb. 62 zeigt in X-Richtung (siehe auch Abb. 64) und stellt den Massenmittelpunkt dar. Das Eigengewicht des Korpus und des Sandes wird mit Hilfe des Massenmittelpunktes berechnet.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

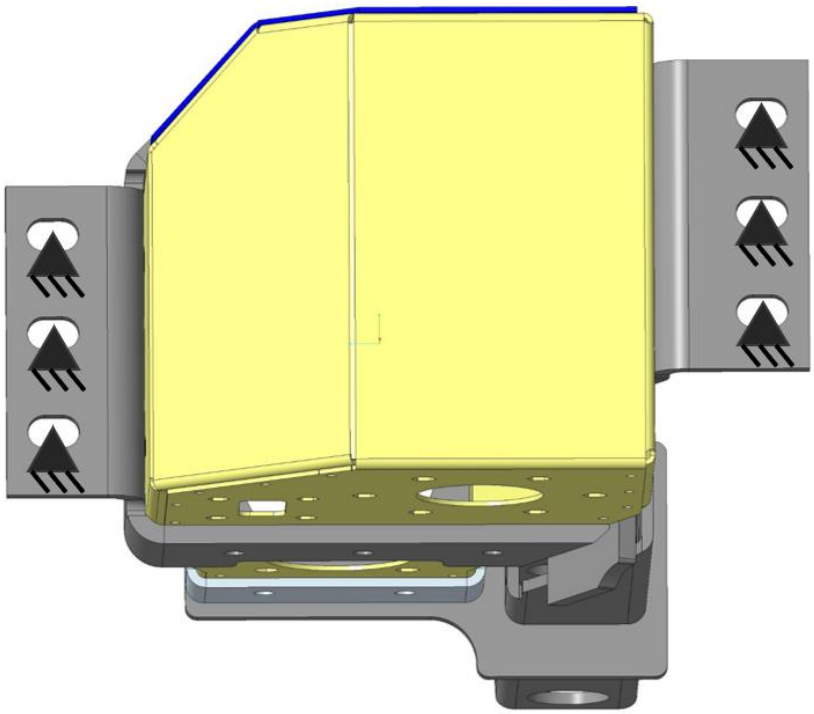


Abbildung 63: Befestigungspunkte COLI

An den Befestigungspunkten wird das FE-Modell mit starren, ringförmigen Einspannungen festgehalten.

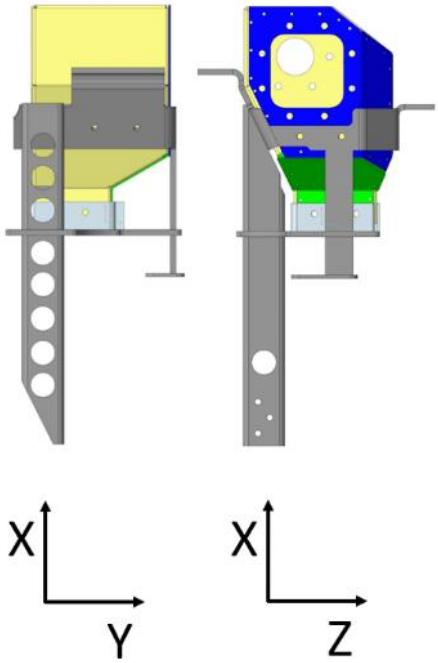


Abbildung 64: Koordinatensystem bezogen auf das Modell COLI

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.

6.4.1 **Vernetzungseigenschaften**

Die Vernetzungseigenschaften für die Modalanalyse werden so wie in Punkt 5.4.1.1 festgesetzt.

Der Sandkasten wird für die Vernetzung als 3D-Volumenkörper betrachtet. Dieser wird aus 16594 Tetraeder-Elementen erzeugt, mit 27946 Kanten und 38758 Seitenflächen. Der min. Kantenwinkel beträgt 3.74 Grad und der max. Kantenwinkel beträgt 171.86 Grad.

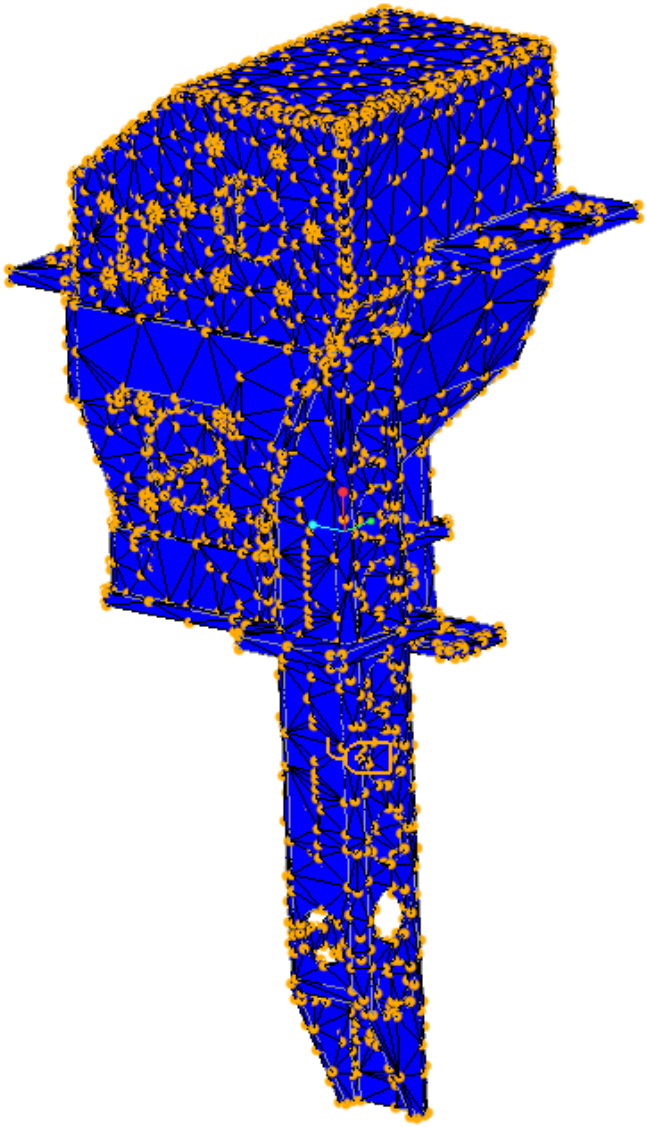


Abbildung 65: Vernetzungsmodell COLI

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

6.4.2 **Modalanalyse**

Es werden die ersten 6 Eigenfrequenzen in einer Modalanalyse ermittelt. In Tabelle 9 sind die für dieses Modell berechneten Eigenfrequenzen zu finden:

Mode	Frequenz in Hz
1	136,9
2	164,2
3	219,6
4	301,8
5	379,7
6	384,6

Tabelle 9: Eigenfrequenzen COLI

Die ersten drei Eigenfrequenzen liegen innerhalb der maximalen Anregung nach EN 61373 Kat. 2 (siehe Abb. 31). Die Lastfälle wurden nach EN 61373 Kat. 2 gewählt und auf die Struktur aufgebracht. (siehe Punkt 5.4.1.2)

Um die Nieten, die den Korpus und das Gerüst miteinander verbinden, im FE-Modell darzustellen, wurden 1 mm lange Stäbe als Verbindungselement dazwischen konstruiert. Diese besitzen einen Durchmesser von 8 mm (so wie die Blindnieten). In Abb. 66 und 67 werden diese 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.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

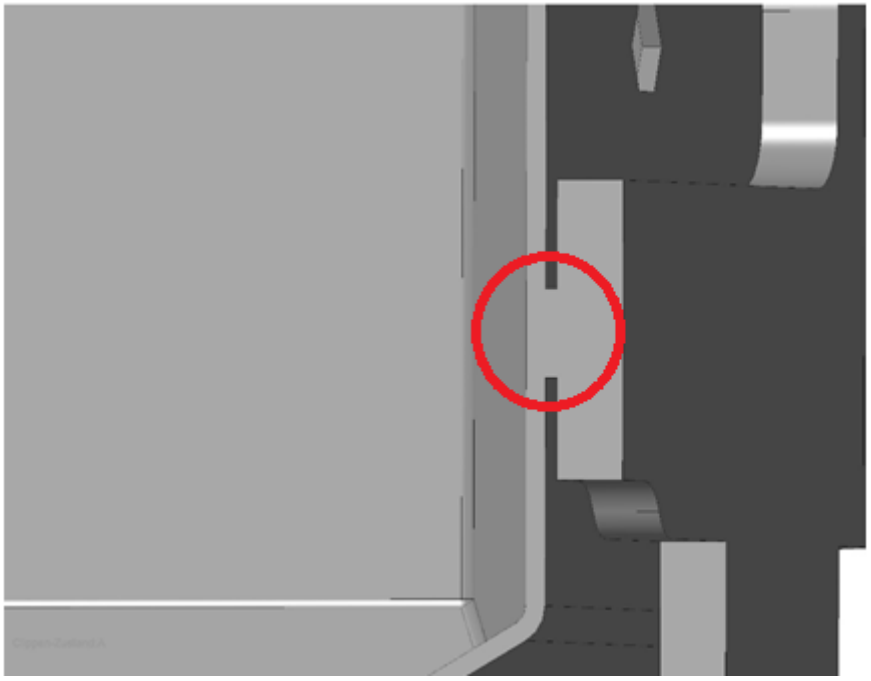


Abbildung 66: Schnitt des FE-Modells für die Darstellung der nachgestellten Blindnieten

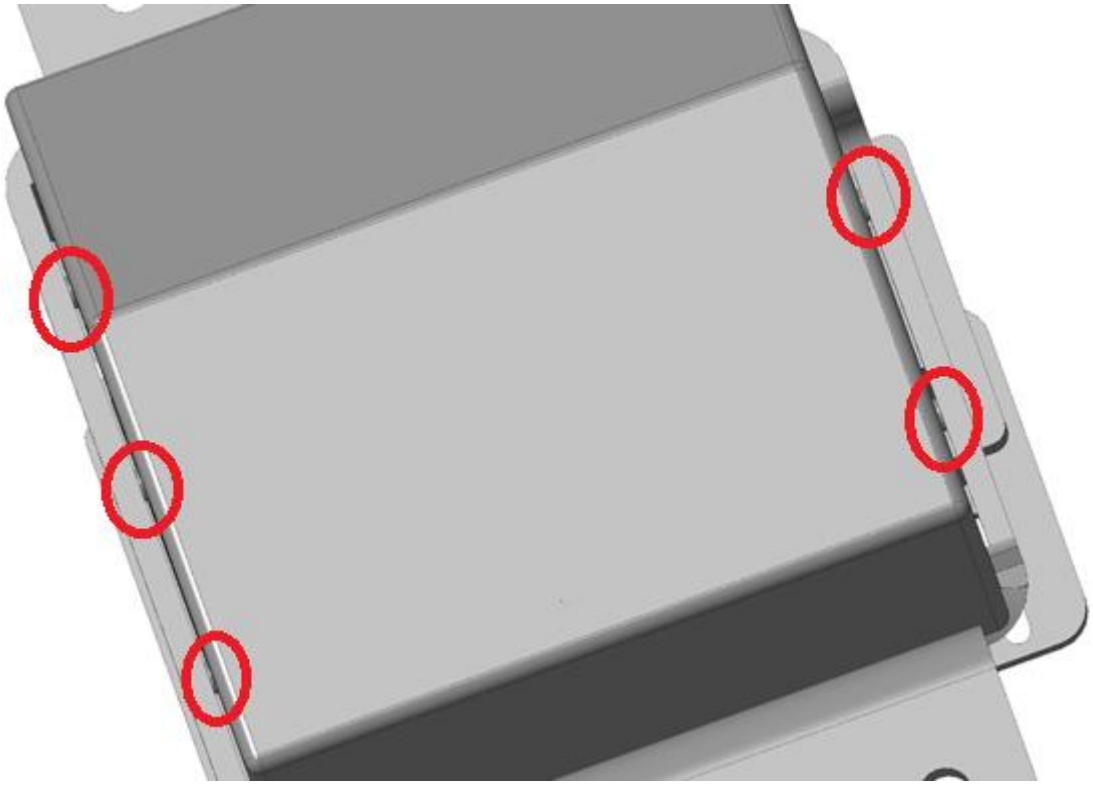


Abbildung 67: Darstellung der nachgestellten Blindnieten im FE-Modell

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

6.4.2.1 Verschiebung

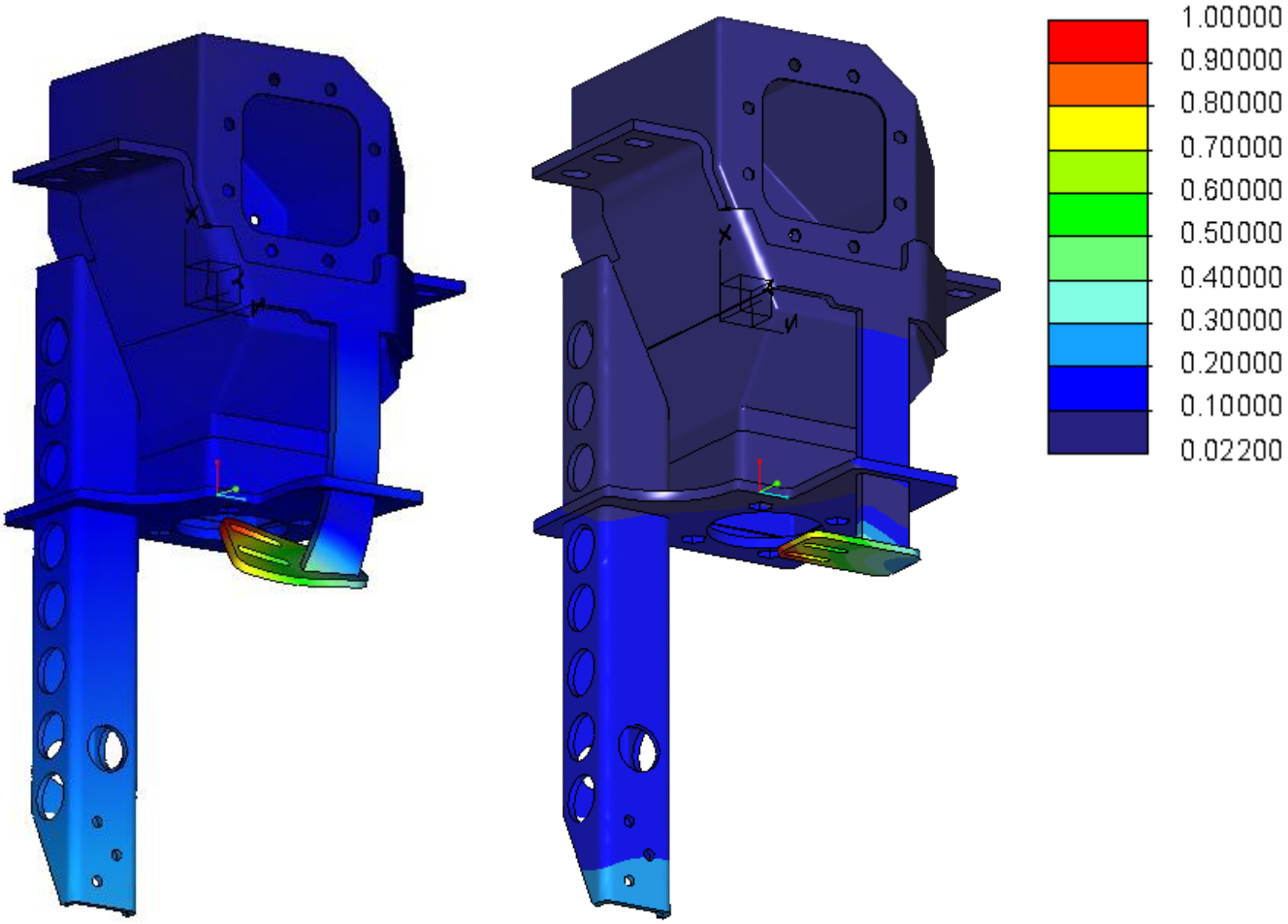


Abbildung 68: Verschiebung von COLI. Links verformt, rechts unverformt

Wie in Abb. 68 zu sehen ist, befinden sich die größten Verschiebungen am Endpunkt der beiden Konsolen. Der kleine Fuß erlebt die maximale Verschiebung von ca. 10 mm in X-Richtung (siehe Abb. 64). Die große Konsole verschiebt sich am Ende um 4 mm in Y-Richtung (siehe Abb. 64).

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

6.4.2.2 Spannung

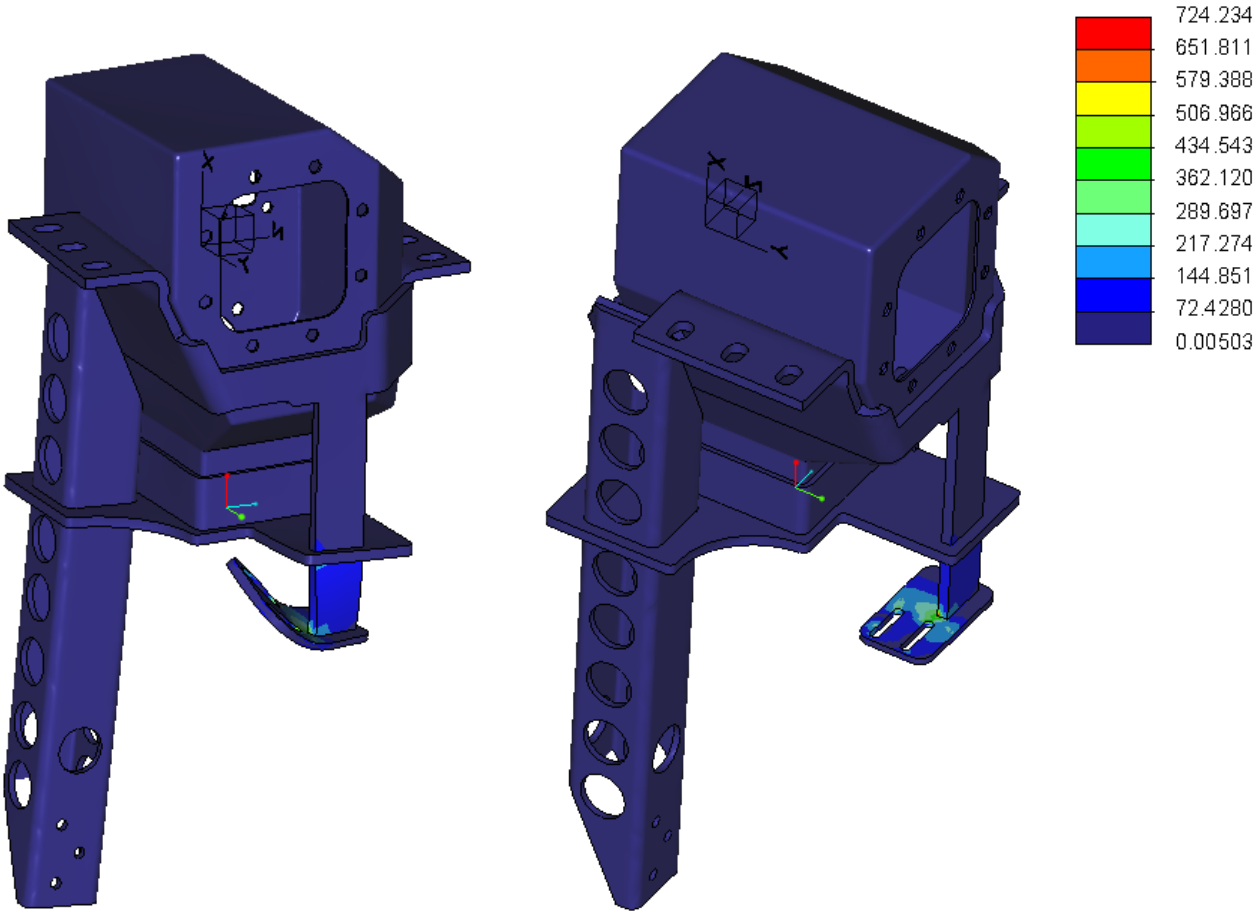


Abbildung 69: Spannung von Modell COLI. Links verformt, rechts unverformt

Wie in Abb. 69 zu sehen ist, tauchen die höchsten Spannungen am Fuß der kleinen Konsole auf. Die Spannungen erreichen einen maximalen Wert von 289.697 MPa.

Wie in Punkt 5.4.1.4 erwähnt wurde, lassen sich Punktlagerungen bzw. Angriffspunkte von Einzellasten im Modell nicht vermeiden. Diese sog. Punktlasten ergeben den in der Spannungsskala maximalen Wert 724.234 MPa (Abb. 69). Sie stellen eine Unsauberkeit in der Modellierung dar, die vernachlässigt werden kann, da diese Punktlasten in der Praxis nicht auftauchen.

Der Korpus scheint, trotz der dünnen Blechkonstruktion, keine deutlichen Spannungen zu erleben, was bedeutet, dass das Gerüst die Hauptaufgabe, alle äußeren Kräfte zu tragen, erfüllt. Daher könnte man eine geringere Blechstärke für das Gerüst nehmen, was auch zur Gewichtreduzierung führen würde. Da aber der Kasten insgesamt nur 13 kg wiegt, ist dies für die Aufgabe nicht nötig.

Auf Grund der großen Verformung am kleinen Fuß muss an der Stelle die Blechstärke erhöht werden, um ein Bruchrisiko zu vermeiden.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

7 Vergleich der drei Konzepte

Wie man in Abb. 70 sehen kann, besitzt der Korpus bei allen drei Modellen dieselbe Geometrie.

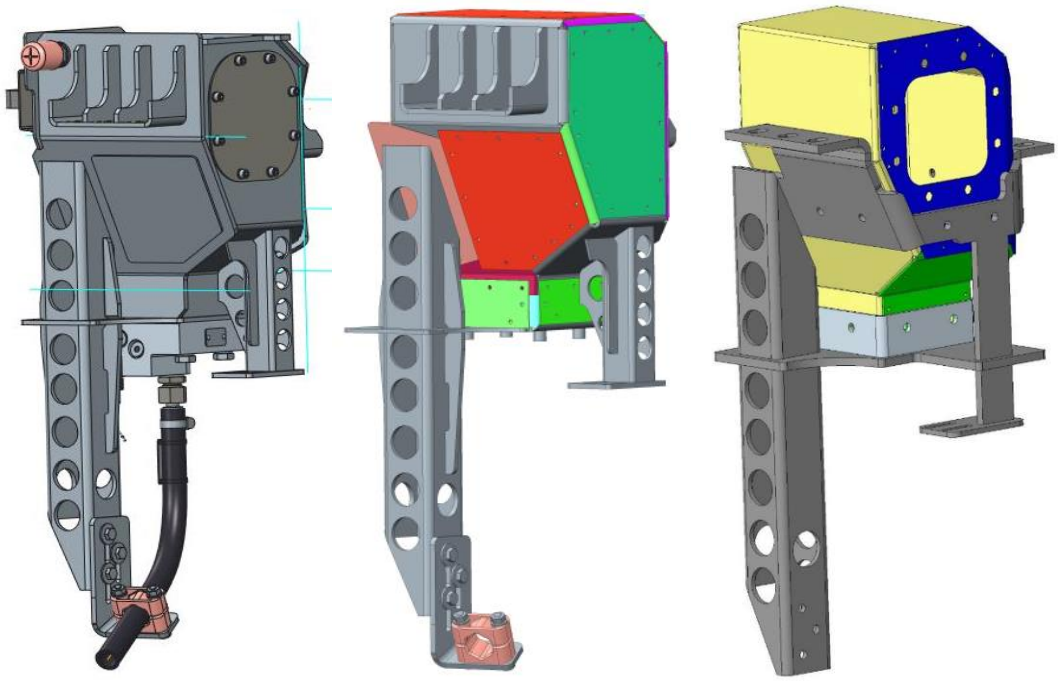


Abbildung 70: Sandkasten Honolulu (links), Sandkasten ALBI (Mitte), Sandkasten COLI (rechts)

Tabelle 10 zeigt einen Überblick über die 3 wichtigsten Faktoren, die im Zuge dieser Diplomarbeit zu erreichen waren:

Sandkasten	Honolulu	ALBI	COLI
Gewicht	17 kg	12,5 kg	13 kg
Teile	9	40	7
Komplexität (Schweißnähte)	hoch	sehr hoch	gering/mittel

Tabelle 10: Vergleichstabelle der verschiedenen Sandkastenkonzepte

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Anhand dieser drei Faktoren stellt man fest, welches Konzept die meisten vorgelegten Ziele erreichen konnte: der Sandkasten COLI.

Das Gewicht zu reduzieren ist bei beiden neuen Konzepten gelungen. ALBI ist auf Grund der Winkelkonstruktion am leichtesten. Allerdings sieht man bei COLI, dass dieser nur 0,5 kg schwerer ist als ALBI, trotz der Gerüstdicke von 8 mm.

Der Sandkasten COLI besitzt zwei Teile weniger als das Originalkonzept, Honolulu. Der Korpus von COLI besteht aus 3 Blechplatten, während Honolulu aus 4 Blechplatten und ALBI aus 21 Blech- und Winkelteilen besteht. Dies trägt nicht nur zur Reduktion des Gewichtes bei, sondern auch zur Zeitersparung bei der Konstruktion und zur Senkung der Periodendauer in der Produktentstehung, wobei hier vor allem die Montage gemeint ist. Das Konzept der Skelettbauweise wurde zum ersten Mal in der Firma Knorr-Bremse Mödling bei einem Sandkasten eingesetzt, was es zu einem innovativen Konzept macht. Die reine Konstruktion des Modells COLI in Creo Parametrics hat um die 45 Stunden gedauert, während die des Sandkastens ALBI ca. 100 Stunden beansprucht hat. Im Vergleich hat COLI ungefähr die Hälfe der Zeit bei der Konstruktion erspart. COLI ist auch das einfachste Konzept in der Herstellung, das Gerüst wird beispielsweise nur aus einem Stück Blech geschnitten und sechs Mal gefaltet.

Die Komplexität wird bei Schweißkonstruktionen an der Anzahl der Schweißnähte gemessen. Wie in Abb. 58 und 59 schon zu sehen ist, braucht das Gerüst nur 7 Schweißnähte, was die Komplexität gering bis mittel hält, im Vergleich zu einem üblichen Sandkasten aus einer Blechkonstruktion. Der Preis vom Produkt hängt vom Grad der Komplexität ab. Je mehr Schweißnähte sich in einer Konstruktion befinden, desto teurer wird es. Daraus kann man ableiten, dass COLI das kostengünstigere Produkt ist.

Das einzige nicht erreichte Ziel vom Sandkasten COLI ist die standardisierte Konstruktion, basierend auf Referenzen im CAD-Modell. Um die Skelettbauweise in einen Sandkasten zu integrieren, muss man jedes Gerüst speziell für die jeweilige Geometrie konstruieren.

Das Unternehmen hat daraufhin entschieden, dieses Projekt nicht weiter zu verfolgen, da es zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich ist, alle vorgelegten Ziele zu erreichen.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

8 Zusammenfassung und Ausblick

Für ein funktionierendes Sandungssystem ist nicht nur eine Sandungsanlage wichtig, sondern auch mehrere Sandungskomponenten, wie zum Bsp. ein Sandkasten. Es wurde ein neues Konzept für einen Sandkasten einer Sandungseinheit eines Bremssystems erstellt, basierend auf der Geometrie vom Sandkasten Honolulu (produziert von der Firma Knorr-Bremse). Man wollte kurzfristige Ziele, wie zum Bsp. eine Gewichtsreduzierung, und langfristige Ziele, wie zum Bsp. eine Senkung der Komplexität, erreichen.

Der Honolulu-Sandkasten ist für einen Hochgeschwindigkeitszug vom Honolulu Rail Transit in Honolulu, Hawaii, gebaut worden. Der Sandkasten wurde aus einer Blechkonstruktion gebaut. Der Korpus bestand aus 5 Hauptblechen, einer Bodenplatte für die Sandungsanlage und 2 Konsolen. Alle Teile wurden nach DIN EN 15085 – 3 miteinander verschweißt. Für die neuen Konzepte war es wichtig, dieselben technischen Daten wie der Honolulu-Sandkasten aufzuweisen.

Das erste entwickelte Konzept war der Sandkasten ALBI. Die Innovation dieses Sandkastens bestand im Korpus. Der Korpus wurde aus einer zusammengeschweißten Winkelkonstruktion gebildet. Um den Kasten abzudichten, wurden 1,5 mm starke Blechplatten an den Winkel genietet. Zusätzlich musste man die Stellen zwischen den Platten und der Winkelkonstruktion flüssig abdichten. Das Gewicht des Korpus erreichte 5 kg und bestand aus 21 Teilen (ohne Dichtplatten). Die Bodenplatte betrug eine Stärke von 4 mm und besaß fast dieselbe Geometrie wie die Bodenplatte vom Honolulu-Sandkasten. Die einzigen Änderungen waren die 3 Biegungen der Kanten um 90°. Diese Kantenbiegung war nötig, um die 2 mm starken Platten, die zur Abdichtung notwendig sind, an der Bodenplatte befestigen zu können. Deswegen wurde auch eine kleine, zusätzliche Lasche an der Oberfläche angeschweißt, um auch die fehlende Seite mit der Dichtplatte zu verbinden. Zusätzlich wurde die Bodenplatte zur besseren Stabilität auch an die große Konsole angeschweißt. Die Festigkeitsanalyse ist mit „Creo Simulate Tool“ durchgeführt worden. Dafür wurden zwei verschiedene Volumenkörper des Sandkastens konstruiert. Der erste Versuch bestand aus der Winkelkonstruktion ohne Dichtungsplatten, beim zweiten ist die Dichtungsplatte dazugekommen, die die Masse der 3 Sandungskomponenten (Schauglas, Sandstandsensor und Einfüllklappe) trug.

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

Bei beiden Versuchen wurde die Gesamtmasse und das Material, austenitischer Stahl (X5CrNi18-10) mit den Materialeigenschaften aus der FKM-Richtlinie, berücksichtigt. In der Modalanalyse sind die Verschiebung und Spannung mit den in der Norm EN 61373 Kat. 2 maximal zugelassenen Eigenfrequenzen durchgeführt worden.

Im Endeffekt stellte man fest, dass das Winkelkonzept leider nicht in der Praxis als leistbare Option umzusetzen ist. Es sind verschiedene Probleme aufgetaucht. Verglichen mit dem Honolulu-Sandkasten sind zum einen die Komplexität und somit auch die Produktionskosten gestiegen, zum anderen ist die Entwicklungs- und Konstruktionsdauer nicht gesunken. Daher hat man sich von diesem Konzept verabschiedet.

Mit demselben Winkelprinzip ist ein weiterer Kasten konstruiert worden, der Sandkasten PETI. Dieser Sandkasten basierte auf einer einfacheren Geometrie eines Sandkastens von Knorr-Bremse. Da die Geometrie dieses Sandkastens eine geringe Komplexität aufweist, war das Winkelprinzip leichter anzuwenden. Die Winkelkonstruktion bestand aus 24 Teilen. Davon waren 15 Winkel, 7 Laschen und 2 gebogene Bleche. Um den Sandkasten abzudichten, waren 7 weitere Platten notwendig. Da die Firma sich von dem Winkelkonzept aber schon getrennt hatte, ist keine Festigkeitsanalyse durchgeführt worden.

Das zweite entwickelte Konzept war der Sandkasten COLI. Dieser basierte auf der Skelettbauweise. Dieses Konzept wurde bisher hauptsächlich in der Baubranche, speziell bei Gebäuden, eingesetzt. Die Innovation dieses Konzeptes bestand im Gerüst. Das Gerüst sollte die gesamte Kraft tragen, damit der Korpus nur die Funktion eines Sandbehälters übernehmen konnte. Daher musste man es mit einer Stärke von 8 mm konstruieren. Es bestand aus 4 Blechteilen. Diese Teile sollten nach DIN EN 15085 – 3 zusammengeschweißt werden. In diesem Konzept ist die Bodenplatte als Teil des Gerüsts eingebaut worden, um dem Sandkasten mehr Stabilität zu schenken. Zusätzlich wurde eine 3 mm starke Platte an die Oberfläche angeschweißt. Diese war für die untere Verbindung mit dem Korpus relevant. Der Korpus bestand aus 3 Blechen, die miteinander zusammengenietet wurden. Die Bleche besaßen eine Stärke von 2 mm. Der Korpus wurde mit dem Gerüst ebenfalls durch Blindnieten verbunden. Die Festigkeitsanalyse ist mit „Creo Simulate Tool“ durchgeführt worden. Dafür wurde ein Volumenkörper des Sandkastens konstruiert. Die Gesamtmasse und das Material, austenitischer Stahl (X5CrNi18-10) mit den Materialeigenschaften aus der FKM-

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

Richtlinie, wurden berücksichtigt. In der Modalanalyse wurde die Verschiebung und die Spannung mit den in der Norm EN 61373 Kat. 2 maximal zugelassenen Eigenfrequenzen durchgeführt.

Als letztes hat man einen Vergleich von den drei verschiedenen Konzepten unternommen. Hier konnte man gut erkennen, dass der Sandkasten COLI zwar die meisten, aber nicht alle kurzfristigen und langfristigen Ziele erreichen konnte. Daher wurde das Projekt nicht weiterverfolgt. Der Wunsch nach einer kostengünstigen standardisierten Konstruktion eines Sandkastens ist weiterhin erhalten geblieben, aber dafür müssen die CAD-Programme weiterentwickelt werden, um dies in Zukunft auch erreichen 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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

9 Literaturverzeichnis

Böge, A. (2009). Nietverbindungen. In *Handbuch Maschinenbau* (S. 161-166). Viewer + Teubner.

Böllhoff, & Knorr-Bremse. (2018). RIVKLE Bliendnietmuttern. *GD33784/1*. Österreich: Knorr- Bremse.

DB Systemtechnik GmbH. (2014). Technische Lieferbedingungen. *Streumittel zur Kraftschlußverbesserung*. Minden, Deutschland: Deutsche Bahn-Standard.

Deutsches Institut für Normung. (Januar 2010). Bahnanwendungen – Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen. *Teil 3: Konstruktionsvorgaben DIN EN 15085-3*. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag GmbH.

Deutsches Institut für Normung. (2012). Halbrundniete. *Nenndurchmesser 1 mm bis 8 mm DIN 660*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Deutsches Institut für Normung e. V. und VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (2014). Bahnanwendungen – Umweltbedingungen für Betriebsmittel. *Teil 1: Betriebsmittel auf Bahnfahrzeugen; Deutsche Fassung EN 50125-1:2014*. Berlin, Deutschland: VDE VERLAG GMBH und Beuth Verlag GmbH.

Deutsches Institut für Normung e. V. und VDE Verband der Elektrotechnik, E. I. (2010). Bahnanwendungen – Betriebsmittel von Bahnfahrzeugen- Prüfungen für Schwingen und Schocken EN 61373:2010. Frankfurt am Main: VDE Verlag GMBH.

Fröhlich, P. (1995). *FEM-Leitfaden.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Gfatter, G., & Lang, D. (2002). *Sandungssysteme.* Mödling: Knorr-Bremse.

Gfatter, G., Berger, P., Krause, G., & Vohla, G. (2002). *Grundlagen der Bremstechnik.* München und Mödling: Knorr-Bremse GmbH.

Grütze, D. (2007). *Bau-Lexikon.* München: Carl Hanser Verlag.

Hausjournal. (Stand 2020). Von https://www.hausjournal.net/stahlbetonskelettbau abgerufen

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

Knorr-Bremse. (2016). *Sandkasten.* München: Knorr-Bremse.

Knorr-Bremse. (2017). SDN31.1 Sandkasten. *GD27364*. Mödling, Österreich: Knorr-Bremse.

Krismanic, G. (2013). *Lastenheft: mechanischer Dosierer.* Mödling: Knorr- Bremse Mödling.

lernhelfer.de. (2019). Von https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/kunst/artikel/konstruktionsprinzipien-skelettbau-gliederbau abgerufen

Rennert, R., Kullig, E., Vormwald, M., Esderts, A., & Siegele, D. (2012). *Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile.* Frankfurt am Main: VDMA Verlag GmbH.

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Güterzuglokomotive BR25 (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 11) 4
Abbildung 2: Einteilung der Bremse für Schienenfahrzeuge (Gfatter, Berger, Krause, & Vohla, 2002, S. 17) 8
Abbildung 3: Sandungssystem (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 17) 10
Abbildung 4: Sandungsprinzipien a) Überdruckprinzip (links) b) Unterdruckprinzip (rechts) (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 35,54) 11
Abbildung 5: Sandungsanlage vom Typ SDN14-1 (Gfatter & Lang, Sandungssysteme, 2002, S. 34) 12
Abbildung 6: Sandkasten (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 11) 14
Abbildung 7: Sandkasten mit Komponenten (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 14) 15
Abbildung 8: Sandkasten mit Komponenten (Knorr-Bremse, Sandkasten, 2016, S. 14) 16
Abbildung 9: Sandkasten Honolulu 18
Abbildung 10: Sandkasten Honolulu mit sämtlichen Komponenten. Ansicht vorne/rechts 20
Abbildung 11: Sandkasten Honolulu mit sämtlichen Komponenten. Ansicht hinten/links 21
Abbildung 12: Sandkasten Honolulu, Ansicht von links (links), Ansicht von oben (rechts) 23
Abbildung 13: Hauptabmessungen des Sandkastens Honolulu 23
Abbildung 14: Geometrie vom Honolulu-Sandkasten 24
Abbildung 15: Honolulu-Sandkasten Korpus 25
Abbildung 16: Kleine Konsole mit Fuß 26
Abbildung 17: Große Konsole mit Flügeln 26
Abbildung 18: Bodenplatte 27
Abbildung 19: Befestigungsplatten 27
Abbildung 20: Sandkasten ALBI inkl. Komponenten 28
Abbildung 21: Korpus des Sandkasten ALBI, Ansicht rechts 30
Abbildung 22: Korpus des Sandkasten ALBI, Ansicht links 31
Abbildung 23: Bodenplatte des Sandkastens ALBI 32

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abbildung 24: Konsole mit Bodenplatte 33
Abbildung 25: Sandkasten ALBI 34
Abbildung 26: Korpus ALBI mit Platten, Ansicht vorne 35
Abbildung 27: Korpus ALBI mit Platten, Ansicht hinten 36
Abbildung 28: Zusätzliche Gewichte im Modell ALBI 38
Abbildung 29: Befestigungen im Modell ALBI 39
Abbildung 30: Koordinatensystem bezogen auf das Modell ALBI 39
Abbildung 31: Vernetzungsmodell ALBI 40
Abbildung 32: Diagramm Lastfälle EN 61373 42
Abbildung 33: Verschiebung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht von vorne 43
Abbildung 34: Verschiebung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht von hinten 44
Abbildung 35: Spannung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht vorne 45
Abbildung 36: Spannung im verformten Zustand, Ansicht oben 46
Abbildung 37: Zusätzliche Gewichte am Modell 47
Abbildung 38: Schnitt des FE-Modells für die Darstellung der nachgestellten Blindnieten 48
Abbildung 39: Darstellung der nachgestellten Blindnieten im FE-Modell 48
Abbildung 40: Vernetzungsmodell ALBI mit Seitenplatten 49
Abbildung 41: Verschiebungen im verformten (links) und unverformten (rechts) Zustand 51
Abbildung 42: Spannung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht vorne 52
Abbildung 43: Spannung verformt (links), unverformt (rechts), Ansicht rechts 53
Abbildung 44: Sandkasten PETI Ansicht links 54
Abbildung 45: Sandkasten PETI Ansicht rechts 55
Abbildung 46: Sandkasten PETI Ansicht rechts 55
Abbildung 47: Korpus von Sandkasten PETI, Ansicht links 56
Abbildung 48: Korpus von Sandkasten PETI, Ansicht rechts 56
Abbildung 49: Bodenplatte Sandkasten PETI 57
Abbildung 50: Nicht abgedichtete Ecke am Sandkasten ALBI 58
Abbildung 51: Nicht abgedichtete Stelle am Sandkasten ALBI 58
Abbildung 52: Kleinste Winkel des Korpus des Sandkastens ALBI 59
Abbildung 53: Sandkasten COLI, Ansicht von oben 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.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abbildung 54: Sandkasten COLI, Ansichten links und rechts 61
Abbildung 55: Sandkasten COLI, isometrische Ansicht.....62
Abbildung 56: Stahlbetonskelettbau (Hausjournal, Stand 2020).....63
Abbildung 57: Gerüst von Modell COLI 64
Abbildung 58: Sandkasten COLI mit Schweißnaht-Bezeichnung 65
Abbildung 59: Sandkasten COLI mit Schweißnaht-Bezeichnung 65
Abbildung 60: Bodenplatte vom Sandkasten COLI. Ansicht von oben (links) und isometrische Ansicht (rechts).....66
Abbildung 61: Korpus des Sandkasten COLI 67
Abbildung 62: Zusätzliche Gewichte am Modell COLI.....69
Abbildung 63: Befestigungspunkte COLI.....70
Abbildung 64: Koordinatensystem bezogen auf das Modell COLI.....70
Abbildung 65: Vernetzungsmodell COLI.....71
Abbildung 66: Schnitt des FE-Modells für die Darstellung der nachgestellten Blindnieten.....73
Abbildung 67: Darstellung der nachgestellten Blindnieten im FE-Modell.....73
Abbildung 68: Verschiebung von COLI. Links verformt, rechts unverformt 74
Abbildung 69: Spannung von Modell COLI. Links verformt, rechts unverformt.....75
Abbildung 70: Sandkasten Honolulu (links), Sandkasten ALBI (Mitte), Sandkasten COLI (rechts).....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.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten Honolulu-Sandkasten 19
Tabelle 2: Umgebungsbedingungen vom Honolulu-Sandkasten 19
Tabelle 3: Honolulu-Komponenten 22
Tabelle 4: Materialdaten 37
Tabelle 5: Eigenfrequenzen 41
Tabelle 6: Werte für Berechnung nach EN 61373 43
Tabelle 7: Eigenfrequenzen 50
Tabelle 8: Werkstoffdaten 68
Tabelle 9: Eigenfrequenzen COLI 72
Tabelle 10: Vergleichstabelle der verschiedenen Sandkastenkonzepte 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.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

12 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Anschl.	Anschluss
Bsp.	Beispiel
ca.	circa
etc.	et cetera
inkl.	inklusive
max.	maximalen
min.	minimalen
pneum.	pneumatisch
Q.	Querschnitt
sog.	so genannten
usw.	und so weiter

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 WIEN Bibliothek Your knowledge hub