

**Methodische Entwicklung eines
Kleingüterlifts
„Single Straight 64“**

**Diplomarbeit an der TU Graz
Institut für technische Logistik**

von

Thomas Magnet

Graz, März 2014

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 13.03.2014

.....

(Unterschrift)

STATUORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am 13.03.2014

.....

(signature)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	7
1.1. Das Unternehmen Ylog GmbH.....	7
1.2. Ausgangssituation.....	7
1.3. Ziel der Arbeit.....	7
1.4. Rahmenbedingungen.....	8
2. Einführung.....	9
2.1. Aufzug- und Liftsysteme.....	10
2.1.1. Grundlegende Prinzipien und Historie (nach [SiD84]).....	10
2.1.2. Einordnung des bestehenden Liftes.....	14
2.2. Die Entwicklungsmethodik nach VDI 2221.....	15
2.2.1. Die Elemente des Konstruktionsprozesses.....	17
2.3. Lösungssuche und Bewertungsmethoden.....	19
2.3.1. Bewertungsmethoden.....	20
2.4. Anwendung des Problemlösungsprozesses im Unternehmen.....	21
3. Entwicklung, Analyse und Bewertung von Maßnahmen.....	27
3.1. Analyse der Aufgabenstellung.....	27
3.1.1. Aktuelle Situation.....	28
3.1.2. Anforderungsliste des Systems.....	36
3.2. Suche nach Lösungen.....	38
3.2.1. Zusammenfassung und Ergebnis der Aufgabenstellung.....	44
3.3. Bewertung der Varianten.....	44
3.3.1. Kabinenanbindung.....	46
3.3.2. Zugmittel.....	49
3.3.3. Liftschacht.....	53
3.3.4. Kabinenführung.....	56
3.3.5. Lage des Motors.....	57
3.3.6. Motor und Getriebe.....	59
3.3.7. Gegengewicht.....	61
3.3.8. Verbindung zum Regal.....	62
3.3.9. Zusammenfassung der Variantenbewertung.....	66
3.3.10. Ergebnis der Bewertung.....	67
3.4. Festlegen der Schnittstellen.....	68
3.5. Festlegen der Zeitkritischen Module.....	69
3.6. Fertigstellung des Zweitentwurfs.....	72

3.7. Analyse des Zweitentwurfs.....	79
3.8. Fertigstellung der Fertigungszeichnungen.....	79
3.9. Fertigstellung der Montagezeichnungen.....	80
4. Umsetzung.....	81
4.1. Erkenntnisse aus dem Prototyp.....	81
4.2. Änderungskonstruktionen bei der Kundenumsetzung in Schweden.....	83
4.3. Erkenntnisse aus Schweden.....	84
5. Abschließende Überlegungen.....	88
5.1. Zusammenfassung.....	88
5.2. Ausblick.....	89
6. Anhang.....	90
6.1. Literaturverzeichnis.....	90
6.2. Abbildungsverzeichnis.....	91
6.3. Tabellenverzeichnis.....	93

Vorwort

Diese Diplomarbeit wurde im Zuge der Erlangung des akademischen Titels „Diplomingenieur Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau“ an der Technischen Universität Graz verfasst. Dabei wurde ich vom Institut für technische Logistik und dem Unternehmen YLOG GmbH unterstützt.

Besonderen Dank gilt der Unterstützung und der Betreuung von Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Landschützer und Ing. Alexander Holweg.

Eine sehr große Hilfe waren auch die Monteure Gottfried Lehner, Manuel Matjas, Vasile Campan und Helmut Prasch, die mit mir ihre Erfahrung von der Baustelle teilten.

Herausstreichen möchte ich Mario Langbauer, der mir bei der technischen Umsetzung immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

Auch bei allen anderen Mitarbeitern des Unternehmens YLOG GmbH möchte ich mich herzlich bedanken. Allen voran den Geschäftsführern Dipl. Ing. Heinrich Amminger und Ing. Martin Trummer.

Ein großer Dank gilt den Mitarbeitern des Instituts für technische Logistik.

Riesiger Dank gilt auch meiner Eltern, Franz und Waltraud Magnet die mir mein Studium ermöglicht haben.

Auch bedanken möchte ich mich bei DI Julia Kruisz und Dr. Wernfried Haas die mir beim Abschluss meines Studiums sehr wichtig waren.

Abschließend möchte ich mich noch bei meiner Ehefrau Carina bedanken, ohne deren Unterstützung diese Arbeit wesentlich länger gedauert hätte.

Kurzfassung

Deutsch

In dieser Diplomarbeit wird die methodische Entwicklung eines Hebbers für ein spezielles Shuttlesystem gezeigt. Diese Neuentwicklung wurde notwendig damit das Unternehmen, ausgelöst durch einen Kundenauftrag, seine Angebotspalette verbreitern konnte. Weil dieses System einem Aufzug sehr ähnlich ist, nähert sich diese Diplomarbeit von aus dieser Richtung dem Thema.

Nach einem kurzen Überblick über die Firma YLOG, das geplante Lager in Schweden und das Ziel der Arbeit werden die Grundlagen erarbeitet. Ausgehend von einem Einblick in die Geschichte der Aufzugprinzipien und der VDI 2221 werden die verwendeten Methoden zur Lösungssuche und deren Bewertung vorgestellt. Danach folgt die Analyse des im Unternehmen verwendeten Konstruktionsprozesses.

Mit diesen wird die Aufgabenstellung analysiert, in die einzelnen Teile zerlegt und daraus 3 Varianten für das Liftsystem synthetisiert. Im Anschluss werden diese anhand ihrer Teilsysteme näher untersucht sodass sich eine Variante herauskristallisiert. Die Umsetzung dieser Variante, als Prototyp und im Kundeneinsatz wird im letzten Kapitel beschrieben. Im Anhang finden sich noch ausgewählte Zeichnungen und die verwendeten Berechnungsblätter.

English

This Diploma Thesis shows the methodical development of a lifting device for a special shuttle system. This completely new development was necessary for the company to get a wider range of possibilities for constructions driven through a project. Since it is very similar to an elevator the approach starts from this side.

First there is a short overview about the company YLOG, the project and the goal of this thesis. The next step shows the basics, an introduction of the history of the elevator principles and the VDI2221 methodology. The methods for finding solutions and their assessment used in this thesis are also shown, like the methodology used in the company.

This helps to analyze in the next step the assignment, split it into solvable parts and synthesize 3 variants In the next step this variants are analyzed and the best one will be chosen. The implementation of a prototype and at some costumers will be shown. In the annex you will find the selected drawings of the system and the used calculation sheets.

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat sich die Lagerlogistik stark gewandelt. Waren vor 20 Jahren noch Lagersysteme mit Regalbediengeräten Stand der Technik, hat in den letzten Jahren die Shuttle Technik im Kleinteilebereich Einzug gehalten.

1.1. Das Unternehmen Ylog GmbH

Das Unternehmen Ylog GmbH mit Sitz in Dobl, südlich von Graz wurde im Jahre 2006 von DI Heinrich Amminger und Ing. Martin Trummer gegründet. Ziel war und ist die Revolutionierung des Warenlagers durch den Einsatz von Autonomen Shuttles, genannt AiV, autonomous intelligent vehicle.

Nach 8 Jahren stetigen Wachstums wurde das Unternehmen vom KNAPP Konzern gekauft, Grund waren finanzielle Schwierigkeiten.

1.2. Ausgangssituation

Das autonome Ebenenbediengerät des Unternehmens Ylog GmbH, genannt AiV , hat in seinem grundsätzlichen Aufbau wesentliche Vorteile hinsichtlich klassischer Regal- und Ebenenbediengeräten. Es ist wendig, stromsparend und kann selbstständig durch das Regalsystem navigieren. Dies trifft jedoch nur für die Ebene zu. Um das Potential gegenüber herkömmlichen Systemen vollständig auszureizen, ist es nötig das AiV mit einem Lift zu kombinieren.

Veränderte Kundenanforderungen machten es notwendig das bisherige Liftsystem zu überdenken. Es ist zu langsam, die Lage im Regal ist unvorteilhaft und die Montage dauert zu lange. Aus diesen Gründen und ausgelöst durch einen Kundenauftrag wurde von der Geschäftsführung beschlossen einen neuen Lift zu entwickeln.

1.3. Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Prototypen und seine Analyse. Diese Resultate der Untersuchung sollen in die Änderungen zur Umsetzung der Kundenanwendung in Schweden genutzt werden. Weiters soll diese erstellt und deren Montage betreut werden.

Zeitgleich soll der Konstruktionsprozess im Unternehmen während dieser Entwicklung untersucht und dokumentiert werden.

1.4. Rahmenbedingungen

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird dieses Hilfssystem – der Lift – untersucht und zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten identifiziert. Eine ganzheitliche Betrachtung des gesamten Lagersystems müsste die Software, die Steuerungstechnik und alle anderen Komponenten die für das reibungslose Zusammenspiel notwendig sind ebenso untersucht werden. Letzteres wird im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt.

Diese Arbeit richtet sich an Maschinenbauer mit Interesse in der Lagerlogistik

2. Einführung

Es gibt zwei Hauptrichtungen aus denen man sich diesem Thema nähern kann, den Hebern der Materialfördertechnik und den Aufzügen der Personenfördertechnik. Diese Diplomarbeit nähert sich diesem Thema aus der Richtung der Personenfördertechnik. Nach [UNG13] sind Aufzüge Systeme für den Transport von Personen und Lasten bis zu einem Winkel von 15° aus der Vertikalen. Sie unterteilen sich in Systeme die für den Personentransport, Personen- und Lastentransport oder reinen Gütertransport geeignet sind. Erstere werden Personenaufzüge, zweitere Lastenaufzüge und letztere nennt man Güteraufzüge. Diese besitzen noch eine Untergruppe, die Kleingüteraufzüge bis zu einer maximalen Zuladung von 300kg.

Da das AiV mit Zuladung maximal 115kg wiegt, spricht man hier von einem Kleingüteraufzug.

Überwachungs- und sicherheitstechnische Anforderungen an Aufzugsystemen, wie sie in den Normen, z.B. zusammengefasst in dem umfangreichen Handbuch „*Technische Regeln für Aufzüge*“ [DVT12], gefordert werden, kommen bei dieser Anlage jedoch kaum zur Anwendung. Diese Anlage ist abgeschlossen, ohne die Möglichkeit von Menschen im Betrieb das System zu betreten.

Dies spiegelt sich in der Sicherheitstechnik wieder. Betritt ein Mensch das System, muss sich die Anlage sofort automatisch abschalten. Außerdem muss sichergestellt werden, dass nur autorisiertes Personal sich im Lift oder Regal bewegt. Eine Einschulung dieses Bedienpersonals ist somit obligatorisch.

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden die Ausdrücke „Lift“ und „Aufzug“ oft als Synonym verwendet. Die Norm, vor allem die Aufzugrichtlinie EN81, verwendet nahezu ausschließlich den Term Aufzug. Um in dieser Arbeit den Unterschied zu verdeutlichen, wird das Entwicklungsziel „Lift“ und das vorschriftenlastige Personenbeförderungsmittel „Aufzug“ bezeichnet.

2.1. Aufzug- und Liftsysteme

Wesentlichen Einfluss auf alle Bestandteile eines Aufzuges hat sein grundlegendes Prinzip. Deshalb kann kaum eine Entwicklung sinnvoll begonnen werden ohne die grundlegende physikalische Wirkungsweise gewählt zu haben. Eingeteilt wird diese nach ihrem Antrieb.

2.1.1. Grundlegende Prinzipien und Historie (nach [SiD84])

Der Aufzug ist eine der ältesten Erfindungen der Menschheit. Schon in der Antike wurde dieser verwendet. Zuerst nur zur Materialbewegung auf Baustellen oder in Bergwerken und selten zur Personenbeförderung. Der Boom begann im Zeitalter der Technischen Revolution mit der Entwicklung der automatischen Fallsicherung von Elisha Graves Otis 1853 und dem Bau der ersten Hochhäuser Ende des 19. Jahrhunderts.

Trommelaufzug

Der bis ins 19. Jahrhundert verwendete Mechanismus war ausschließlich der Trommelaufzug nach Abbildung 2.1. Das Zugmittel, zumeist ein Seil aus Naturfasern, wurde dabei über einen Haspelbaum aufgerollt. Dieser ist bis auf wenige Ausnahmen aus der Technik verschwunden.

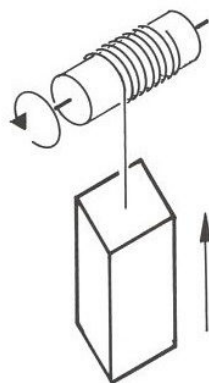


Abbildung 2.1: Trommelaufzug (vgl. [SiD84] S.41)

Sein größter Vorteil ist auch sein größter Nachteil, die Speicherung des Zugmittels. Dadurch wird dieses platzsparend aufgerollt, jedoch wird die Ablegereife je nach Durchmesser Verhältnis bei doppelter Lage um ca. 92 – 98% früher erreicht als mit einer Umlenkscheibe. (vgl. [Wei04]). Weiters kann nur ein Seil verwendet werden, was die Trommel und verwendete Umlenkscheiben sehr groß werden lässt. Auch ist die Hubgeschwindigkeit sehr gering.

Pneumatikaufzug

1832 projektierte Richard Trevithick den Pneumatikaufzug, der so nie umgesetzt wurde. Heute wird dieses Prinzip als Transportmittel für kleine Lasten oder für Getreide verwendet. Das Prinzip verdeutlicht Abbildung 2.2. Dieses zeigt augenscheinlich die größte Herausforderung für den Aufzugsbauer, die Dichtheit im System sicherzustellen. Außerdem benötigt dieses Prinzip starke Ventilatoren und Bremssysteme um bei dem Ein- und Ausstieg die Höhe zu halten.

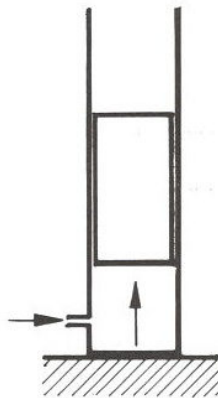


Abbildung 2.2: Pneumatikaufzug (vgl. [SiD84] S.41)

Hydraulikaufzug

Fortschritte in der Hydraulik erlaubten es 1867 Léon Edouk die Entwicklung dieses Prinzips nach Abbildung 2.3. Überall dort eingesetzt, wo hohe Lasten langsam über geringe Höhen zu bewegen sind, leistet er noch heute gute Dienste.

Der indirekte Antrieb dieses Prinzips, der Kolben hebt die Kabine über eine Seilumsetzung, wird weit häufiger als die direkte Variante verwendet. Grund sind die hohen erreichbaren Kräfte bei kleinem Hubweg.

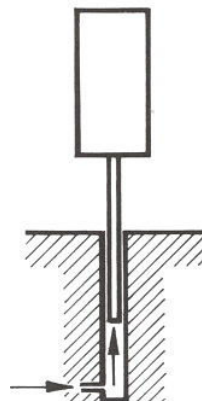


Abbildung 2.3: Hydraulikaufzug (vgl. [SiD84] S.41)

Treibscheibenaufzug

Für die Schachtförderanlagen im Bergbau entwickelte Friedrich Koepe 1877 den Treibscheibenantrieb, wie er auch heute noch bei vielen Aufzugsanlagen in Verwendung ist. Eine Weiterentwicklung ist die Verbindung der einzelnen Drahtseile zu Riemen, die noch geringere Scheibendurchmesser erlauben. Durch die großen Höhen und erreichbaren hohen Geschwindigkeiten hat sich dieses Prinzip weit verbreitet.

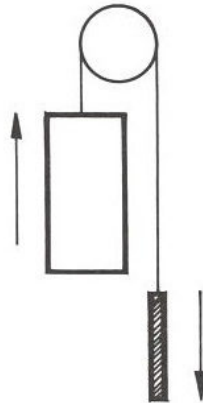


Abbildung 2.4: Treibscheibenaufzug (vgl. [SiD84] S.41)

Kletteraufzug

Mit der Einführung der Elektrik in Europa präsentierte Werner von Siemens 1880 den 1. elektrisch betriebenen Aufzug in Kletterausführung. Dabei schiebt sich die Kabine nach Abbildung 2.5 selbsttätig über einen Zahnstangentrieb in die Höhe. Als wesentlicher Nachteil wird hier die Masse des Antriebes gesehen, die als „totes“ Gewicht bei jeder Beschleunigung und Bremsung bewegt werden muss. Aus diesem Grund ist dieses Aufzugprinzip heutzutage fast ausgestorben. Lediglich in der Nischenanwendung, als Hilfsmittel zur Überwindung von Treppen für gehbehinderte Personen konnte es sich halten.

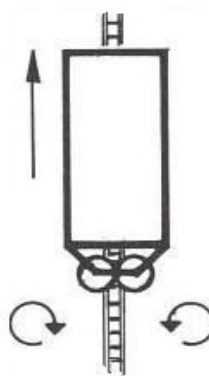


Abbildung 2.5: Kletteraufzug (vgl. [SiD84] S.41)

Paternosteraufzug

Der Paternosteraufzug, Mitte des 20. Jahrhunderts gerne eingesetzt, wurde als letztes Prinzip 1883 als „Cyclic Elevator“ von Turner entwickelt. Eine umlaufende Kette oder Seil trägt dabei die Fahrkabinen nach Abbildung 3.4 in den Fahrschächten. Diese Technik verschwand aufgrund der hohen Unfallgefahr. Sie ist um das zehnfache höher als bei allen anderen Aufzugsanlagen gesamt. (vgl. [SiD84] Abb.102 S.109)

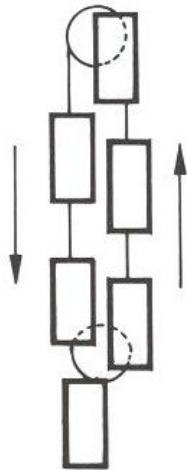


Abbildung 2.6: Paternosteraufzug (vgl. [SiD84] S.41)

Zusammenfassung der Aufzugprinzipien

Eigenschaft	Trommel- aufzug	Pneumatik- aufzug	Hydraulik- aufzug	Treibscheiben- aufzug	Kletteraufzug	Paternoster- aufzug
Antrieb	direkt, mechanisch	Verbindung durch Luft	über den Kolben	direkt über Reibung	unmittelbar	direkt über die Kette
Geschwindig- keit	langsam zur Seilschonung	schnell	langsam	schnell	langsam	langsam für Zustieg
Beschleunig- ung	langsam	schnell	schnell	schnell	langsam, träge	Kaum, nur anfahen
Sicherheit	Fallsicherung	-	über Kolben	Fallsicherung, Vielseilbetrieb	direkter Kraftschluss	Kettenglieder
Betrieb	kurze Wartung- zyklen	-	lange Wartungs- zyklen	lange Wartungs- zyklen	lange Wartungs- zyklen	unfallträchtig
Laufruhe	schräge Kräfte auf die Kabine	-	Ruck beim beschleunigen	ruhig	unruhig, schwankend	ruhig
Sonderform	konische Trommeln	-	Wasser als Gegengewicht	Zahnriemen als Alternative	Motor als Gegengewicht	
Eignung	keine, da zu kurze Wartungs- zyklen	keine, zu teuer	keine, zu langsam	sehr gute	keine, zu schwer und träge	keine, befahren zu aufwendig, teuer

Tabelle 2.1: Analyse und Eignung der Liftprinzipien nach [SiD84]

2.1.2. Einordnung des bestehenden Liftes

Vom Prinzip her ist dieser Lift dem Treibscheibenlift am nächsten. Der Riemen läuft von der Kabine nach oben um die Antriebsscheiben herum und dann nach unten. Dort wird er wieder umgelenkt und mit der Kabine verbunden. Die Spannvorrichtung befindet sich an der Kabine. Angetrieben wird der Lift mithilfe eines synchronen Servomotors, der eine Königswelle über dem Lift antreibt. Diese ist mittels Zahnriemen mit der Plattform verbunden. Geführt wird die Plattform über Rollen an Präzisionsstahlschienen oder bei älteren Liften direkt an Stahlprofilen. Teilweise befinden sich noch Gegengewichte an den Riemen.

Diese werden „Double – Cross Lifte“ genannt. Es sind Lifte die zwei AiV aufnehmen können, daher die Bezeichnung „Double“, und Quer, im englischen „Cross“, zur Hauptfahrtrichtung angeordnet sind. Diese Systeme sind ins Regal integriert und ersetzen dabei Lagerplätze. Abbildung 2.7 zeigt diesen Lift, Abbildung 3.6 sein Funktionsprinzip.



Abbildung 2.7: Bisheriges Liftsystem

2.2. Die Entwicklungsmethodik nach VDI 2221

Innerhalb des Lebenszyklus eines Produktes kommt dem Entwicklungs- und Konstruktionsprozess eine zentrale Rolle zu. Aufgebaut auf den Prozess des Problemlösens stellt er eine Grundlage für die Schaffung neuer und erfolgreicher Produkte. Der Problemlösungsprozess, dargestellt in Abb. 2.8, ist damit eine Strategie die in jeder Lebensphase eines Produktes anwendbar ist. Dieser gliedert sich in die Abschnitte: Problemanalyse, Problemformulierung, Systemsynthese, Systemanalyse, Beurteilung und Entscheidung.

Die Lebensphasen eines Produktes, dargestellt anhand des Produktkreislaufs in der Abbildung 2.9 zeigen die zentrale Rolle der Entwicklung und Konstruktion angeordnet zwischen der Produktplanung, Aufgabenstellung und der Fertigung, Montage und Prüfung. Hier werden für alle folgenden Lebensphasen wichtigen Entscheidungen anhand von Erfahrungen und Ergebnissen von vor- und nachgeschalteten Phasen getroffen und

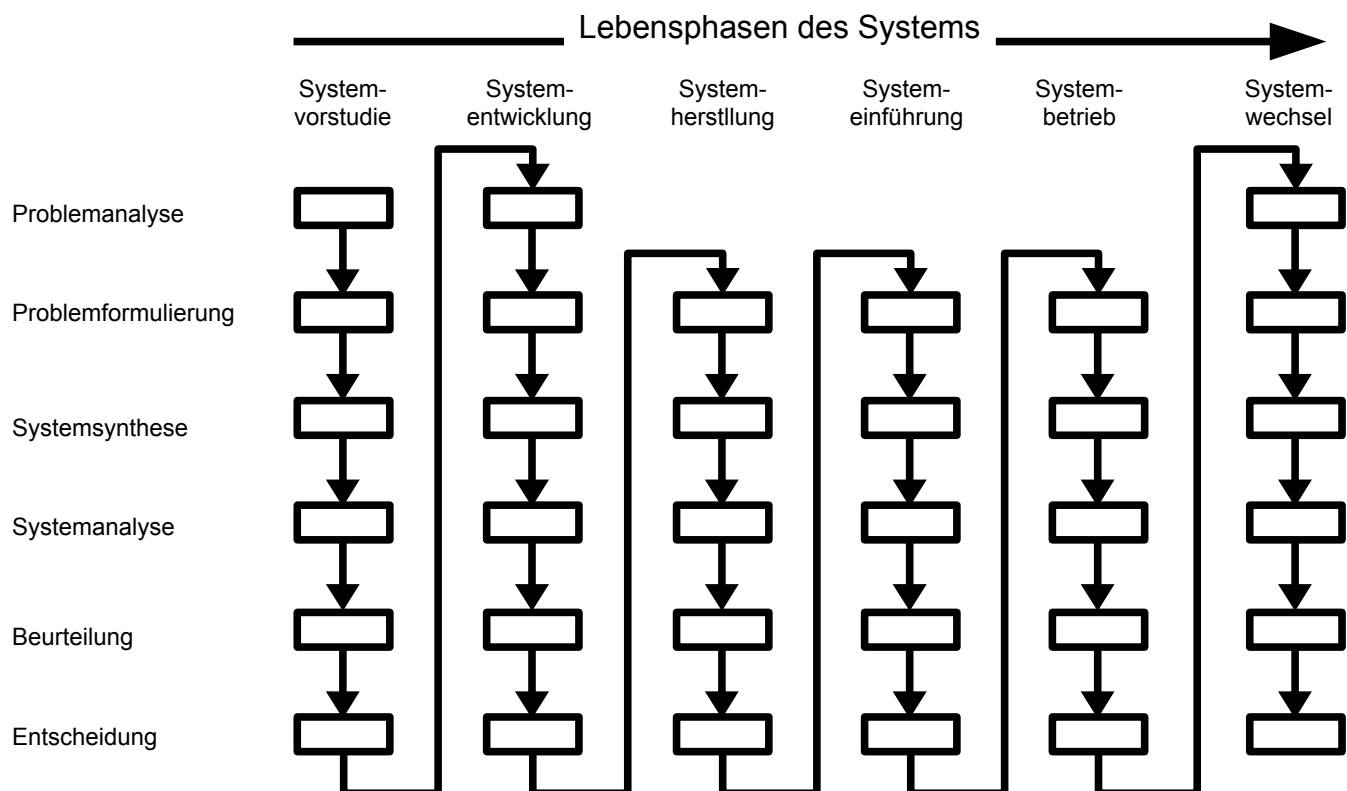


Abbildung 2.8: Der Problemlösungsprozess in allen Lebensphasen eines Systems (vgl. [VDI2221] S.3)

umgesetzt. Auch fließen die aus früheren Produktentwicklungen gewonnenen Erkenntnisse mit ein.

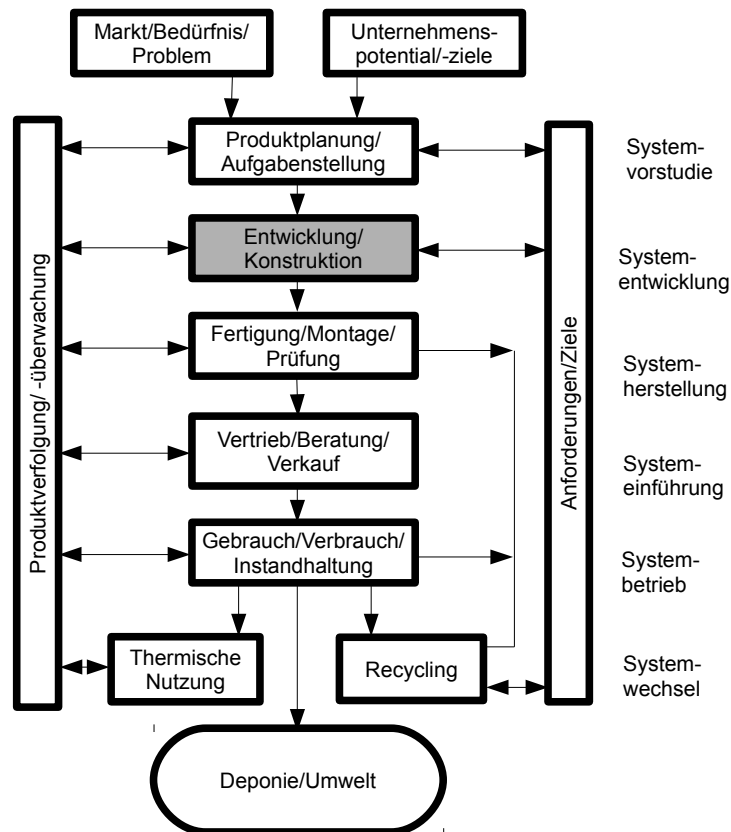


Abbildung 2.9: Produktkreislauf mit Produktentstehungs- und -lebensphasen (vgl. [VDI2221])

Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess nach Abbildung 2.10 ist in Abschnitten untergliedert, die das Vorgehen überschaubar, rationell und branchenunabhängig machen. Jeder dieser Arbeitsabschnitte hat ein definiertes Arbeitsergebnis, das wichtig für die weiteren Schritte ist.

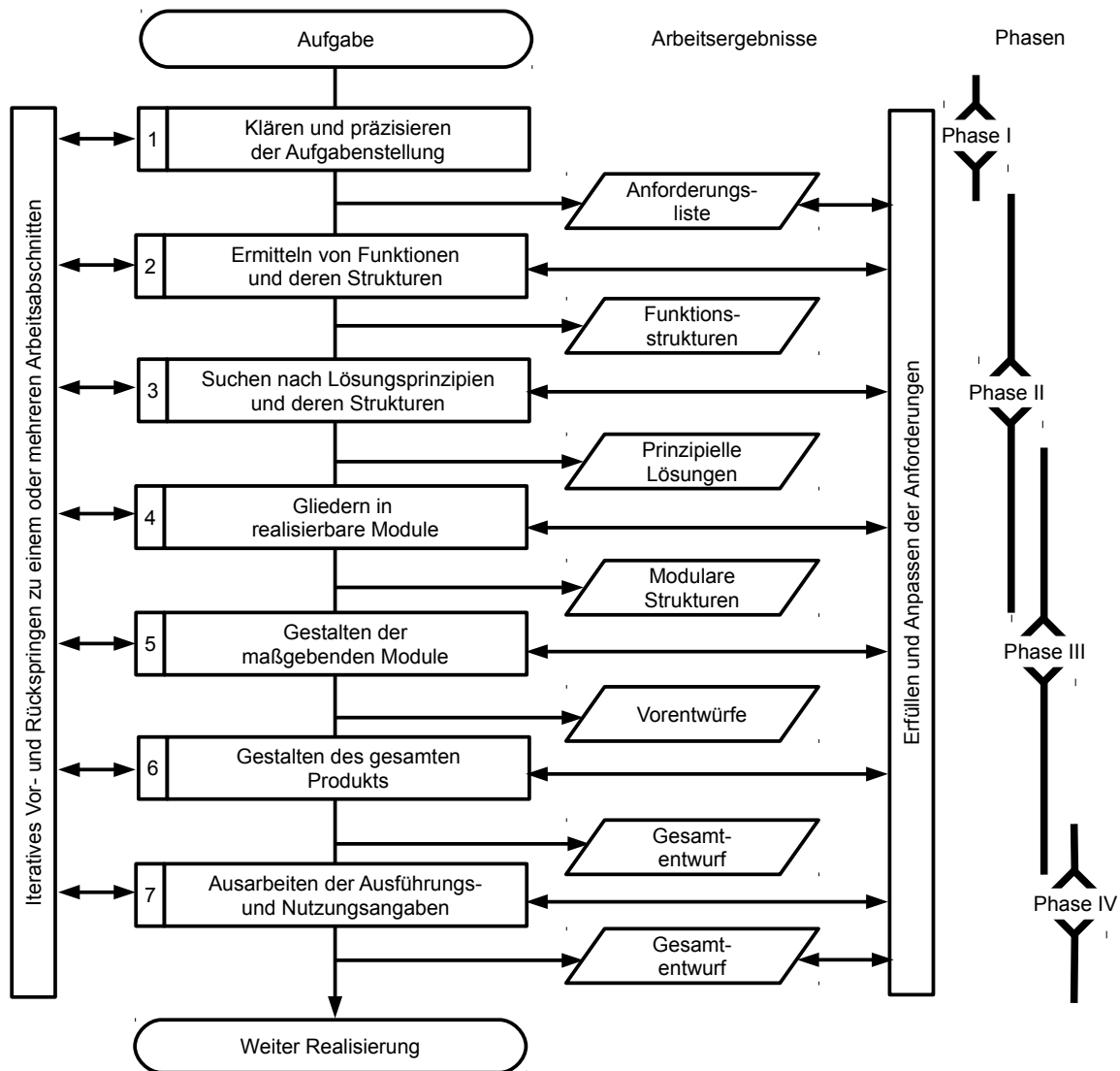


Abbildung 2.10: Entwicklungs- und Konstruktionsprozess nach [VDI2221]

2.2.1. Die Elemente des Konstruktionsprozesses

Klären und präzisieren der Aufgabenstellung

Dieser Abschnitt ist notwendig um die vom Kunden oder internen Abteilungen geforderten Anforderungen zu klären, zu präzisieren und Lücken aufzufüllen. Dazu gehört das Zusammentragen aller verfügbaren Informationen, die Definition der internen zusätzlichen Anforderungen und die Formulierung der Aufgabenstellung aus Sicht des Konstrukteurs.

Ergebnis ist die Anforderungsliste, die alle auf dem aktuellen Stand zu haltenden Informationen beinhaltet. Wesentliche Erkenntnisse können dazu führen das bestehende Anforderungen geändert, entfernt oder neue Anforderungen hinzugefügt werden.

In der Praxis wird diese ab einem bestimmten Zeitpunkt eingefroren, um die Entwicklungszeit bestimmbar zu machen.

Ermittlung der Funktionen und ihrer Strukturen

Ausgehend von der Gesamtfunktion werden die wesentlichen, vom System zu erfüllenden, Teilfunktionen strukturiert und in Zusammenhang gebracht. Deren Gliederung bildet die Grundlage für die Suche nach Gesamt- und Teillösungen.

Bei einfachen Produkten reicht oft nur die Festlegung von Teilfunktionen ohne die Zusammenfassung zu Funktionsstrukturen. Diese sind bei komplexen Energie-, Stoff- und Signalflüssen hilfreich.

Arbeitsergebnis sind eine oder mehrere Funktionsstrukturen, die als Beschreibungen oder als formale Darstellungen und Schaltungen festgelegt werden können.

Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen

In diesem Schritt werden für alle Funktionen bzw. den wesentlichen Teilfunktionen der Funktionsstruktur Lösungsprinzipien gesucht. Zuerst werden die rein physikalischen, chemischen oder anderen Effekte ausgewählt. Diese werden danach durch wirkstrukturelle Festlegungen, wie die Geometrie, die Bewegung oder die Werkstoffart, realisiert.

Ergebnis sind eine oder mehrere prinzipielle Lösungen, die die Wirkstruktur zum Erfüllen einzelner Funktionen oder Funkstrukturen des zu entwickelnden Produktes darstellen.

Gliedern in realisierbare Module

Die prinzipiellen Lösungen werden in realisierbare Module zerlegt bevor die arbeitsaufwendige Realisierung erfolgt.

Arbeitsergebnis ist eine modulare Struktur die die Gliederung der Lösung in die für deren Realisierung wesentliche reale Gruppen und Elemente mit allen Schnittstellen untereinander und zu Fremdsystemen erkennen lässt.

Gestalten der maßgebenden Module

Dieser Abschnitt behandelt einen wichtigen Konkretisierungsschritt durch das Gestalten der maßgebenden Module. Zweckmäßig ist den Detaillierungsgrad soweit zu treiben, das ein Erkennen und Auswählen eines Gestaltungsoptimums erkennbar wird.

Ergebnis sind die Vorentwürfe der maßgebenden Module als Skizzen, grob maßstäbliche Zeichnungen oder als Stromlaufpläne.

Gestalten des gesamten Produkts

Der vorletzte Arbeitsabschnitt legt alle notwendigen Details fest, um das Produkt fertig stellen zu können. Hier wird auch von einem End- oder Feingestalten gesprochen.

Ergebnis ist ein Gesamtentwurf, der alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung enthält.

Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben

Der letzte Arbeitsabschnitt dient dem Ausarbeiten aller notwendigen Angaben für die Produktion, Montage, Nutzung, Wartung und Instandhaltung sowie Entsorgung des Produktes, welche die Konstruktion bzw. Entwicklung zu verantworten hat.

Ergebnis ist die Produktdokumentation mit Nutzungsangaben, wie sie für die weiteren Bereiche des Unternehmens oder des Kunden benötigt wird.

2.3. Lösungssuche und Bewertungsmethoden

Der Prozess nach Abbildung 2.10 gibt einen Weg vor. Die Aufgaben in diesen Schritten wurden quantitativ aufgelistet. Nun sind Methoden zu finden, um diese Aufgaben durchzuführen.

Methoden zur Lösungssuche

Folgende Verfahren aus der Konstruktionslehre nach [PBF07] wurden verwendet:

- Kollektorverfahren
Dies bezeichnet die Sammlung und Auswertung von Informationen zum Stand der Technik. Dabei stehen vielfältigste Informationsquellen zur Verfügung, wie etwa eine Literaturrecherche, Auswertung von Messen und Ausstellungen oder von Katalogen und Konkurrenzprodukten. Sehr effizient gestaltet sich diese durch die Unterstützung

des Internets. Diese Aufgabe gehört zum Standardrepertoire des Konstrukteurs.

- Analyse bekannter technischer Systeme

Diese ist ein weiteres Standardhilfsmittel bei der Entwicklung. Dem gewünschten Produkt ähnliche oder auch vollkommen fremde Systeme werden dabei gesammelt und ausgewertet.

- Messungen, Modellversuche

Wenn eine Entwicklung oder Konstruktion den Schritt von der Zeichnung in die Realität bzw. in die Umsetzung erlebt, werden deren Annahmen mit den mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Produktes verglichen. Im Idealfall verhält sich das Produkt so wie prognostiziert. Fehler werden hierbei augenscheinlich. Für Neukonstruktionen empfiehlt es sich den Zwischenschritt über einen Prototypen im Hause zu gehen. Dadurch kann man Zeit, Kosten und Prestigeverlust verhindern. Stellt man jedoch diesen „Prototypen“ beim Kunden auf, kann dies zu weitreichenden Problemen führen.

Diese hier dargestellten Verfahren konnten während der Konstruktionsphase nicht strikt voneinander getrennt angewendet werden.

2.3.1. Bewertungsmethoden

Die Bewertung der Lösungen folgt in groben Zügen der VDI2225. Diese gliedert nach [PBF07] die Aufgabe im Wesentlichen in 6 Arbeitsschritte. Nach dem Ermitteln der Teillösungen und zusammenstellen zu Gesamtlösungen wurden diese bewertet. Die Vorgangsweise und die Unterschiede zur VDI zeigt Tabelle 2.2.

Schritt	VDI 2225	Bewertung im Unternehmen
1	Zusammenstellen wichtiger technischer Eigenschaften sowie Wunschvorstellungen	Anforderungsliste aus dem Konstruktionsprozess
2	Festlegen von Gewichtungsfaktoren, nur bei stark unterschiedlicher Bedeutung der Bewertungskriterien	Keine Festlegung von Bewertungskriterien.
3	Punktebewertung der Lösungen (0 bis 4)	Analog zur VDI
4	Ermittlung der Technischen Wertigkeit durch Summenbildung ohne oder mit Berücksichtigung auf eine Ideallösung. Gegebenenfalls Ermitteln einer wirtschaftlichen Wertigkeit aufgrund von Herstellkosten.	Analog zur VDI
5	Vergleich der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeiten, Aufstellen eines s-Diagramms.	Ein s-Diagramm wird nur in Ausnahmefällen erstellt.
6	Feststellen der Eigenschaften mit geringer Punktzahl	Wird hier nur in Ausnahmefällen erstellt.

Tabelle 2.2: Vergleich der VDI 2225 mit der Bewertungsverfahren im Unternehmen

2.4. Anwendung des Problemlösungsprozesses im Unternehmen

In der Praxis ist eines der wichtigsten Ressourcen neben dem Geld die Zeit bis zur Projektfertigstellung. Dies muss der Problemlösungszyklus mit abbilden. Die Komplexität der Anforderungen an die Konstruktion lässt nach [PBF07] S.4 anhand der „Neuheit“ eines Produktes in drei Klassen einteilen: „Neukonstruktionen“, „Anpassungskonstruktionen“ und „Variantenkonstruktionen“:

- „Neukonstruktionen für neue Aufgabenstellungen und Probleme werden mit neuen Lösungsprinzipien durchgeführt.“ Sie erfordern den größten Aufwand. Dabei müssen nicht alle Teile des Produktes neu entwickelt werden oder bestehende Probleme werden mit neuen Prinzipien gelöst. Diese erfordern den Durchlauf aller Konstruktionsphasen.
- Anpassungskonstruktionen erfordern Änderungen an bestehenden Lösungsprinzipien und passt die Gestaltung an veränderte Rahmenbedingungen an. Dies erfordert die Neukonstruktion einzelner Teile und Baugruppen. Sie befasst sich im Wesentlichen mit Fragestellungen im geometrischen, festigkeitsmäßigen oder fertigungs- und werkstofftechnischen Bereich.
- Bei Variantenkonstruktionen werden im Zuge der Auftragsabwicklung Größe und/oder Anordnung von Teilen und Baugruppen variiert. Sie erfordern in der Neukonstruktionsphase den höchsten Aufwand und bieten in der Auftragsabwicklung keine größeren Konstruktionsprobleme mehr.

Diesen beiden wesentlichen Anforderungen trägt der in dem Unternehmen beobachtete Prozess nach Abbildung 2.11 Rechnung. Bei einer Neuentwicklung durchläuft man zuerst für ein Produkt alle Schritte dieses Prozesses. Stellen sich danach Erkenntnisse aus der Fertigung, von der Montage auf der Baustelle, bei der Inbetriebnahme oder im Betrieb ein, muss man das Produkt mithilfe einer Änderungskonstruktion anpassen. Genauso muss man bei geänderten Anforderungen vorgehen. Hat man schlussendlich einen Standard gefunden geht man bei den nächsten Projekten zu reiner Variantenkonstruktion über.

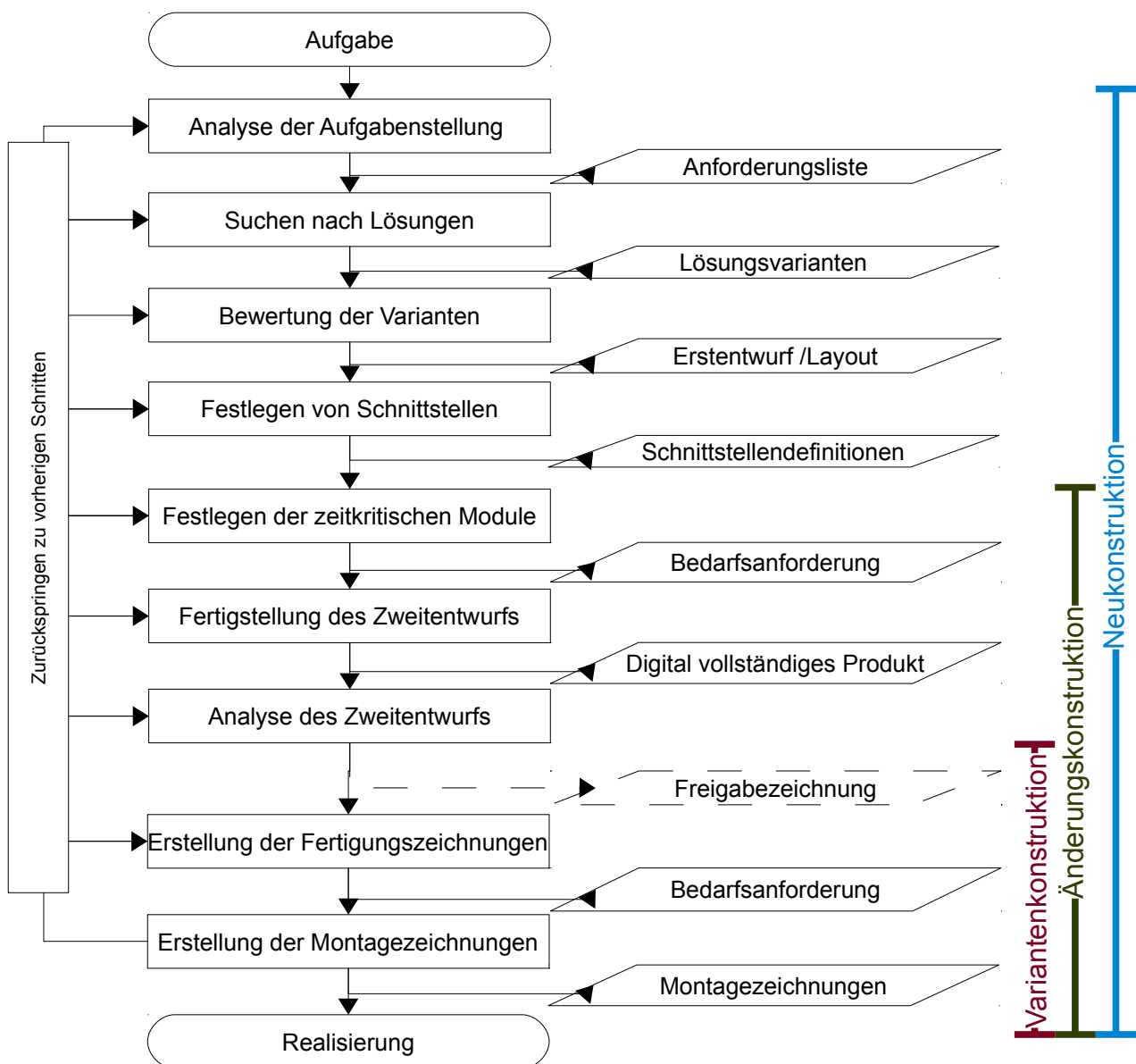


Abbildung 2.11: Konstruktionsprozess YLOG

Den zeitlichen Verlauf stellt Abbildung 2.12 dar. Diese zeigt die Phasen des Konstruktionsprozesses anhand von 4 Modulen. Die Parallelisierbarkeit des Prozesses wird durch untereinander geordnete Schritte für die Module symbolisiert. Ist ein Modul in einem Schritt von einem anderen Modul abhängig, so muss entweder die Reihenfolge umgekehrt oder wie in der 4. Zeile, beim Schritt festlegen der Schnittstellen, auf den vorherigen Schritt gewartet werden. Die Schnittstellendefinition und die Freigaben sind hier Schritte die Abgewartet werden müssen, da sie Auswirkungen auf alle Module besitzen. Die Montagezeichnungen sind dem ähnlich, sie werden jedoch erst auf der Baustelle benötigt.

Phase	Zeitlicher Verlauf																																				
Analyse der Aufgabenstellung	A																																				
Suche nach Lösungen		1	2	3	4																																
Bewertung der Varianten			1	2	3	4																															
Festlegen von Schnittstellen				1	2		3	4																													
Festlegen der zeitkritischen Module									1																												
Fertigstellung des Zweitentwurfs										2	3	4																									
Analyse des Zweitentwurfs											2	3	4																								
Erstellung der Fertigungszeichnungen													2	3	4																						
Erstellung der Montagezeichnungen																																					
Betreuung der Montage																																					
Einkauf der Teile und Komponenten																																					
Aufbau auf der Baustelle																																					
Inbetriebnahme																																					
Meilensteine																																					
Schnittstellen bzw. Layoutzeichnung																																					
Freigabe durch den Kunden																																					
Baustart																																					
Inbetriebnahme																																					
Projektabschluss																																					

Abbildung 2.12: Zeitlicher Verlauf und Meilensteine bei einer beispielhaften Neuentwicklung

Analyse der Aufgabenstellung

Erster Schritt nach Erhalt des Entwicklungsauftrages ist die Analyse der Aufgabenstellung, auch Pflichtenheft genannt. Dabei wird versucht diese mittels Skizzen oder Ablaufdiagrammen in einen für den Konstrukteur verständlichen Rahmen zu bringen. Hier hat er die Aufgabe die für die Entwicklung notwendigen zusätzlichen Angaben und gesetzlichen Vorschriften in Erfahrung zu bringen und auf erste Probleme hinzuweisen.

Ergebnis ist eine klare und einfache Zusammenfassung aller Anforderungen an das Produkt, genannt Anforderungsliste.

Suchen nach Lösungen

Für jedes Element der Anforderungsliste sind nun eine Lösung oder mehrere Teillösungen zu suchen. Eine Lösung kann dabei auch mehrere Elemente gleichzeitig lösen. Der Konstrukteur sollte nicht ausschließlich aus seiner Erfahrung schöpfen, ein weiter Blick auf den Stand der Technik, nicht nur in der Unternehmenssparte, ist hier vorteilhaft. Auch die Befragung von Kollegen sollte dabei nicht außer Acht gelassen werden. Auf einen Ausschluss von Lösungen, die zunächst ungeeignet scheinen soll in diesem Schritt bewusst verzichtet werden.

Ergebnis sind ein oder mehrere Lösungsvarianten, die die Anforderungsliste in ihrer Gesamtheit erfüllen.

Bewertung der Varianten

Die zuvor ermittelten Varianten werden in diesem Schritt einer Bewertung unterzogen. Selbst eine einzige mögliche Variante muss diesen Schritt durchlaufen, da auch die Erkenntnis, dass eines oder mehrere Elemente der Aufgabenliste nicht zu erfüllen sind, ein Ergebnis sein kann.

Ergebnis ist ein Erstentwurf, in dem die wichtigsten Dimensionen und alle zu verwendenden Bauteile eingetragen sind. Dieser stellt im Allgemeinen eine zeichnerische Umsetzung der Aufgabenstellung dar.

Festlegen von Schnittstellen

Dieser Schritt ist schon in diesem frühen Stadium wichtig. Der Konstrukteur muss dabei mit den Konstrukteuren anderer Gewerke oder anderer Abteilungen absprechen. Erstes Ziel ist das Festlegen der Bauräume und der gegenseitige Hinweis auf Probleme und Schwierigkeiten im Zusammenspiel der Systeme. Diese Sitzungen sollten in regelmäßigen Abständen abhängig vom Realisierungsgrad wiederholt werden.

Ergebnis ist eine von allen an der Anlage beteiligten Unternehmen und/oder Abteilungen abgesegnete Schnittstellendefinition.

Festlegen der zeitkritischen Module

Nachdem die Aufgabenstellung, der Erstentwurf und die Schnittstellen bekannt sind, kann begonnen werden das System mit fertigen Produkten anderer Hersteller und eigenen Konstruktionen auszufüllen. Man führt erste Berechnungen durch und nimmt Kontakt zu Herstellern auf. Hier legt man sich auf definitive Produkte als Teillösungen für das geplante Endprodukt fest. Viele von ihnen werden erst auf Auftrag produziert, sodass vom Bestellzeitpunkt bis zum Lieferzeitpunkt teilweise zehn und mehr Wochen vergehen können. Abhängig von der Lieferzeit gewählter Produkte sollten diese in der endgültigen Lösung definiert werden.

Ergebnis ist eine Bedarfsanforderung aller Produkte mit langer Lieferzeit, die den Mitarbeitern der Einkaufsabteilung genau die erforderlichen Spezifikationen und Stückzahlen vorgeben.

Fertigstellung des Zweitentwurfs

Nachdem alle zeitkritischen Produkte bestellt sind, kann der Konstrukteur dem erstmaligen vollständigen Entwurf des endgültigen Produktes zuwenden. Hier werden nun alle Einzel- und Normteile definiert, die notwendigen Berechnungen getätigt und zu Baugruppen zusammengefasst. Zumeist wird daraus eine Layoutzeichnung erstellt.

Das Ergebnis ist ein grundsätzlich fertigbares Modell des Entwicklungsziels in digitaler Form, zumeist mittels eines 3D Zeichenprogramms erstellt.

Analyse des Zweitentwurfs

Das fertige Modell des Produktes wird in diesem Schritt einer Analyse durch Kollegen, durch Simulationssoftware und andere Analyseprogramme und manchmal auch durch die erfahrenen Monteure beurteilt. Letztere weisen zumeist auf Probleme hin die sich während der Montage ergeben können.

Das Ergebnis ist ein Modell, für das der Konstrukteur alles ihm mögliche getan hat Fehler in der Planungsphase zu eliminieren. Die Layoutzeichnung dieses Zweitentwurfs wird je nach Projekt dem Kunden zur Freigabe vorgelegt.

Erstellung der Fertigungszeichnungen

Nachdem der Zweitentwurf fertiggestellt wurde, ist es die Aufgabe des Konstrukteurs diese in Technische Zeichnungen umzuwandeln. Es werden aus dem 3D Modell 2D Ansichten generiert und diese danach mit Maßen und Toleranzen versehen. Eine zusätzliche Aufgabe des Konstrukteurs ist es danach die Bedarfsanforderungen zu erstellen.

Ergebnis sind alle Zeichnungen, die notwendig sind um die Einzelteile zu fertigen, und die genauen Bezeichnungen und Mengen aller zur Montage erforderlichen Materialien, zusammengefasst in den Bedarfsanforderungen für den Einkauf.

Erstellung der Montagezeichnungen

Um die Einzelteile aus dem vorhergehenden Schritt nach der Lieferung zusammenbauen zu können, ist es notwendig Zeichnungen zu erstellen, durch die die Monteure an der Baustelle die notwendigen Informationen erhalten. Nachdem alle Einzelteile zur Bestellung an die Einkaufsabteilung übermittelt wurden, kann der Konstrukteur in der Zeit zwischen der Bestellung und der Anlieferung der bestellten Teile den Montagezeichnungen widmen.

Ergebnis aus diesem Schritt sind alle Zeichnungen die notwendig sind, um das System auf der Baustelle aufzubauen und in Betrieb zu nehmen.

Zurückspringen zu vorherigen Schritten

Reift während der Entwicklung die Erkenntnis das Elemente der Aufgabenstellung nicht mit geplanten Modulen lösbar sind oder Elemente vergessen wurden, muss man zum jeweiligen Schritt zurückspringen und für dieses Modul oder die Baugruppe den Prozess nochmals durchlaufen.

3. Entwicklung, Analyse und Bewertung von Maßnahmen

Veränderte Kundenanforderungen machten es notwendig, einen neuartigen Lift zu entwickeln. Ausgelöst durch ein Projekt, nach Abbildung 3.1, entschied das Unternehmen vom bisherigen Lift abzukommen.

Hauptproblem war die optimale Ausnützung der Fläche innerhalb des Lagerraums der durch eine Wand mit der Kommissionierzone getrennt wurde. Die Geschäftsführung entschied sich dabei einen Single Straight Lift, einen Einzellift angeschlagen an eine Längsgasse, einzusetzen. Einen solchen Lift gab es im Unternehmen zu der Zeit noch nicht. Weiters wurde erkannt, das bei dieser Lagergröße die Liftgeschwindigkeit wesentlich erhöht werden musste.

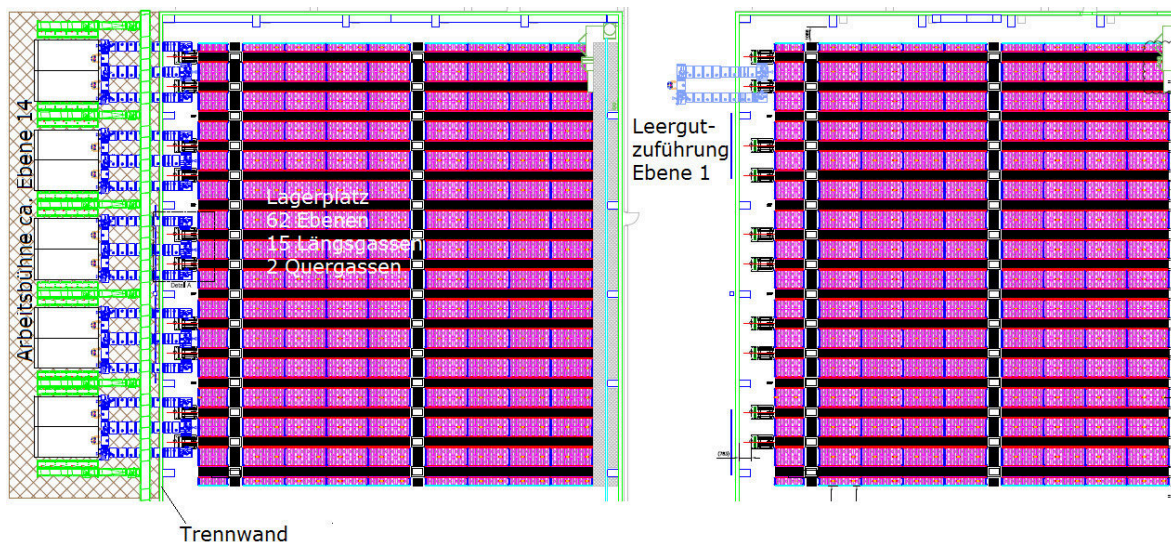


Abbildung 3.1: Projektierungsplan Schweden

3.1. Analyse der Aufgabenstellung

Wesentliche Bestandteile der Aufgabenstellung lässt sich aus dem Auftrag des Projektes in Schweden herauslesen. Auch durch die Befragung von Mitarbeitern des Unternehmens konnten einige wichtige Hinweise gewonnen werden.

Der Umfang der Änderungen ist sehr genau umrissen, geändert werden kann nur:

- Der aktuelle Lift, mit allen dazu notwendigen Einbauten und
- die Verbindung zum Regal

Alle anderen Elemente, wie das AiV mit der Ladetechnik oder die Gurtumsetzer, können nicht verändert werden.

3.1.1. Aktuelle Situation

Teilt man ein automatisches Kleinteilelager (AKL) in drei Bereiche ein, einen Lagerbereich (Abb. 3.2 Grau umrandet), einem Transportbereich (Abb. 3.2 blau umrandet), und einen Kommissionierbereich (Abb. 3.2 rot umrandet), so kann man jedem Bereich eigene Aufgaben zuweisen. Im Lagerbereich werden die Behälter gelagert und bei Bedarf zum Lift transportiert. Im Transportbereich wird der Behälter mit dem AiV durch den Lift zur Fördertechnik gebracht und im Kommissionierbereich werden Produkte aus dem Behälter entnommen oder in diesen gelegt.

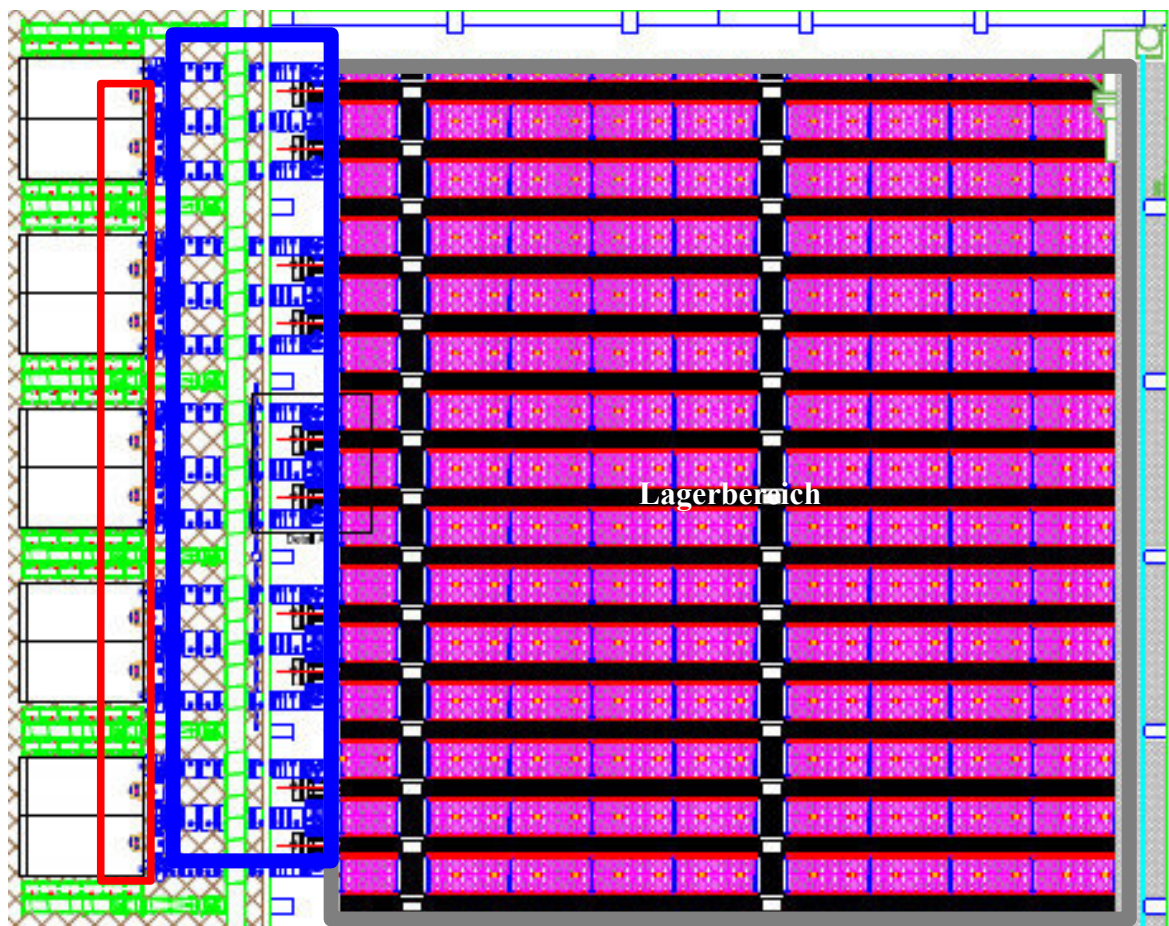


Abbildung 3.2: Übersicht Schweden mit Zoneneinteilung

Der Lift befindet sich im Transportbereich, zwischen dem Lager und dem der Fördertechnik, er stellt deren Verbindung dar. Betrachtet man die Bewegungen eines Behälters durch das System wird dies deutlich:

Soll ein Behälter eingelagert werden, wird er über Förderrollenbahnen zum Gurtumsetzer gebracht und dort auf das AiV geschoben. Dieses befindet sich am Lift, der es danach mit dem Behälter zur Einlagerungsebene bringt. Von dort fährt das AiV mit dem Behälter auf den zugewiesenen Stellplatz. (Abbildung 3.3 rote Linie)

Wird der Behälter wieder angefordert, holt ein AiV den Behälter wieder an der Ebene ab, bringt ihn zum zugewiesenen Lift. Der Lift bringt das AiV auf die Fördertechnikebene und von dort wird der Behälter dem Arbeitsplatz über die Fördertechnik zugeführt. (Abbildung 3.3 grüne Linie)

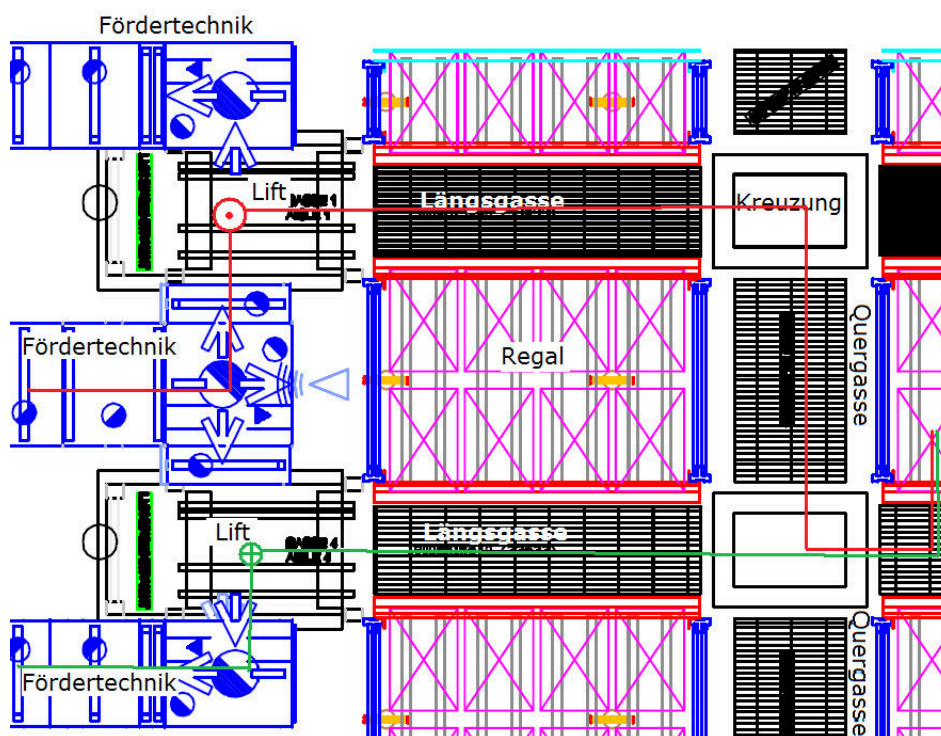


Abbildung 3.3: Der Lift eingebettet in seiner Umgebung

Gurtumsetzer

Neben Liften und AiVs produziert das Unternehmen noch Gurtumsetzer. Diese stellen derzeit die Verbindung der Fördertechnik mit dem AiV nach Abbildung 3.4 dar. Positioniert sich der Lift zu den Gurtumsetzern, befindet sich auf der Zulaufseite ein nicht hebender Gurtumsetzer mit Noppen und auf der Ablaufseite ein Hebender ohne Noppen. Zwischen den Gurtumsetzern und der Kabine bzw. dem AiV befindet sich ein Spaltblech. Hier ist ein Abstand von 40mm einzuhalten. Ohne Spaltblech erweitert sich dieser Abstand auf 80mm.

Der nicht hebende Gurtumsetzer mit Noppen besitzt auf seinen beiden Zahnriemen jeweils eine bis zwei Noppen. Diese schieben die Kiste von der Fördertechnik auf das AiV , gleichzeitig kann eine weitere Kiste vom AiV auf die Fördertechnik übergeben werden.

Der hebende Gurtumsetzer ohne Noppen zieht die Kiste direkt vom Schwert, wenn eine Kiste gleichzeitig auf das AiV geschoben wird, oder übernimmt die Positionierung zur Fördertechnik nachdem das AiV die Kiste abgegeben hat und das Schwert zurückzieht.

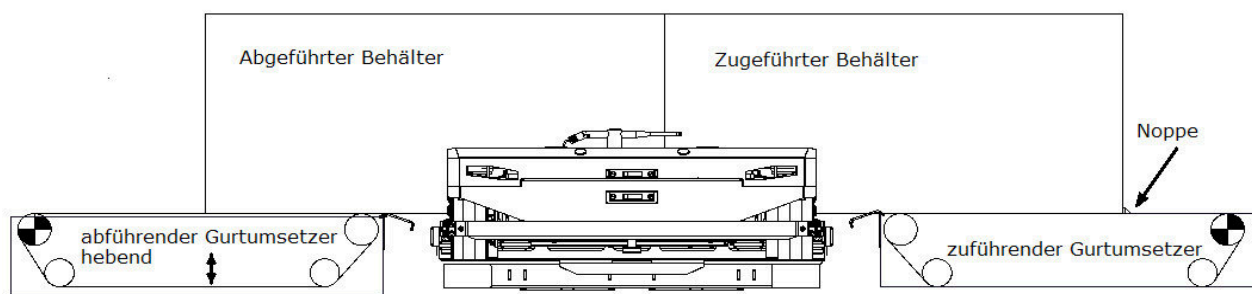


Abbildung 3.4: AiV mit Gurtumsetzer

Das Schieben eines Behälters auf das AiV nennt man aufladen, das Abgeben eines Behälters auf die abführende Fördertechnik nennt man abladen. Wird ein Behälter gleichzeitig aufgeladen, während ein anderer abgeladen wird, nennt man das umladen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass für dieses System Behälter mit schrägen Seitenwänden nachteilig sind. Dabei kann es dazu kommen, dass sich ein Behälter aufstellt und mit der Oberseite der Kabine nach Abbildung 3.5 kollidiert.

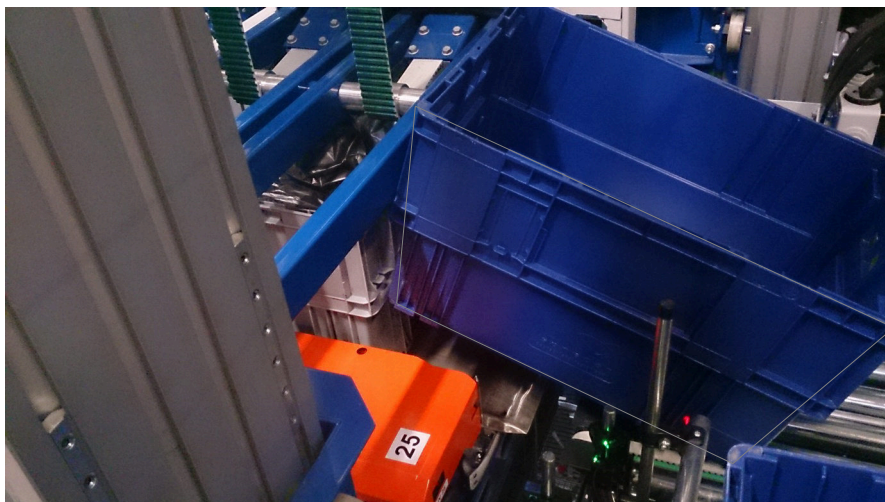


Abbildung 3.5: Probleme bei Behältern mit schräger Seitenwand

Der Generalunternehmer hat in seinem Lieferumfang diese Gurtumsetzer enthalten, sie sind nicht Teil der dieser Arbeit.

Analyse des bestehenden Liftsystems

Der aktuelle Lift, mit dem Prinzip nach Abbildung 3.6, wird mithilfe eines Synchron - Servomotors, über eine Königswelle an der Oberseite angetrieben. Diese ist mittels Zahnriemen mit der Plattform verbunden. Geführt wird die Plattform über Rollen an Schienen oder bei älteren Liften an Stahlprofilen. Teilweise befinden sich noch Gegengewichte an den Riemen.

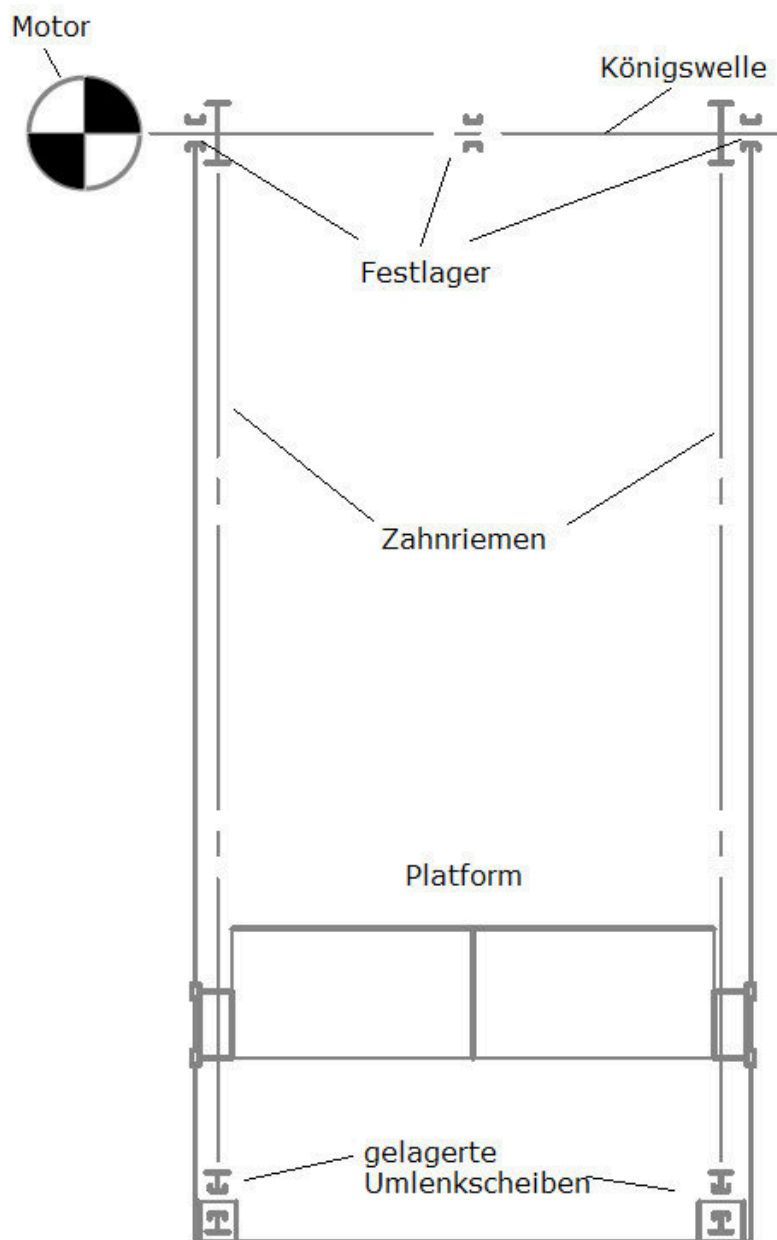


Abbildung 3.6: Liftprinzip alt

Im Regelbetrieb hat dies folgende Vorteile:

- Die Liftplattform ist teilweise offen, sie hat kein Dach, was sie besonders leicht macht.
- Der Riemen wird nur 2x umgelenkt, da er seitlich an der Plattform befestigt ist.
- Trotzdem ist die Rollenbelastung relativ gering, da der Riemen nahe dem Schwerpunkt angreift.
- Ein Absturz durch ein fehlerhaftes AiV ist nahezu ausgeschlossen, da das AiV sich für den Lift positionieren und die Räder verdrehen muss.

Das System hat auch Nachteile:

- Endet eine Quergasse am Lift kann es durch Fehler und Ungenauigkeiten zum Zusammenstoß der Liftplattform mit einem in den Liftschacht ragenden AiV kommen.
- Das AiV muss erst die Räder (vgl. Abb. 3.7) verdrehen bevor es auf den Lift auffahren kann. Dies kostet Zeit und führt zwangsläufig zu mehr AiV im AKL, was den Preis erhöht.
- Lager werden heutzutage nach Lagerplätzen verkauft. Man versucht so viele wie möglich davon auf kleinstem Raum unterzubringen. Ein Liftsystem das Lagerplätze ersetzt wirkt dem entgegen.

Der Aufzug, der die Einlagerungsebenen verbindet, bestimmt mit seinem Unterbau die Höhe der ersten Ebene über dem Boden. Sein Überbau bestimmt die Gesamthöhe des Regals.

Zumeist sind in den Hallen Unterzüge eingebaut, die das Dach stützen. Diese begrenzen die Höhe des Regals, sodass zwischen diesen Unterzügen ausreichend Platz für den Überbau ist.

Die unterste Anfahrtsebene befindet sich auf 175mm über der Regalnullebene.

Dieser Werte sollten auf Kundenwunsch nicht geändert werden.

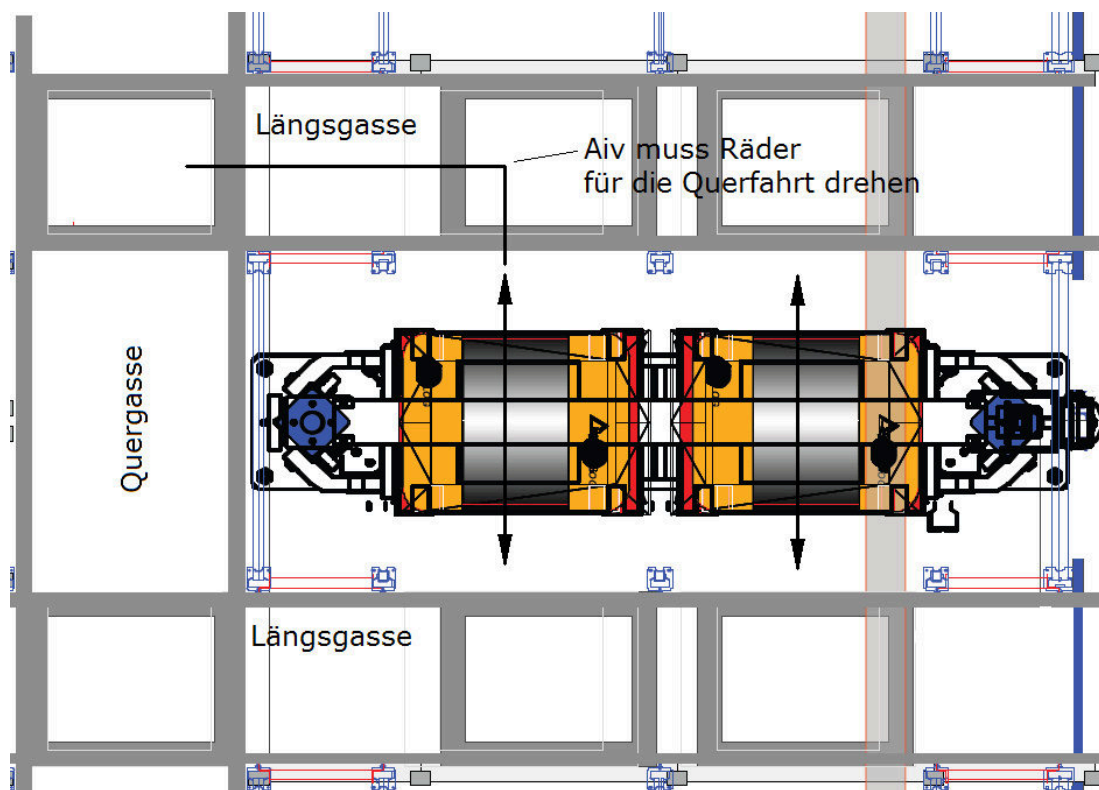


Abbildung 3.7: Auffahrt auf den „Double Cross“ Lift

Generelle Analyse von Aufzugssystemen

Aufzugssysteme bestehen aus vielen Bauteilen die sich in Module nach Abbildung 3.8 einteilen lassen.

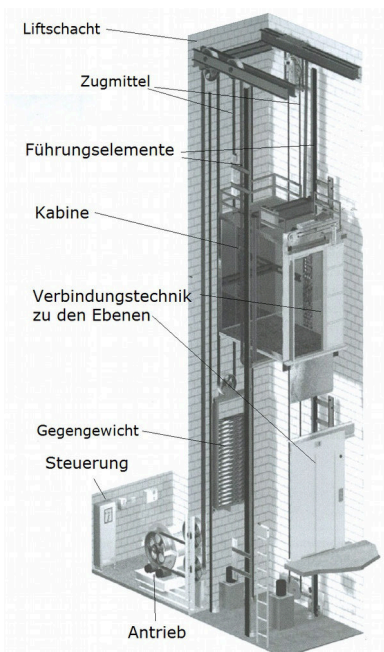


Abbildung 3.8: Bestandteile eines Lifts (vgl. [UNG13] S.32)

- Der Liftschacht nimmt alle Bestandteile des Aufzuges in sich auf. Er trägt die Kräfte und sorgt für die Stabilität.
- Das Zugmittel verbindet die Kabine mit dem Antrieb und dem Gegengewicht. Es trägt wesentlich zur Sicherheit und Funktion des Aufzugsystems bei.
- Die Führungselemente sorgen für einen ruhigen Lauf der Kabine und sind für die horizontale Positionierung zu den Ebenen wichtig.
- Die Kabine nimmt die Ladung des Aufzuges, sei es nun Personen oder Lasten bzw. Güter, auf. Sie ist ein wesentlicher Bestandteil des Sicherheitskonzeptes, verhindert sie doch ungewollte Verletzungen durch Berührungen der Ladung mit den nicht beweglichen Teilen des Aufzuges.
- Die Verbindungstechnik zu den Ebenen sorgt für einen stoßfreien Übertritt beim Be- und Entladen der Kabine. Während der Fahrt sichert sie die Kabine gegen ungewolltes Verlassen und den Liftschacht gegen ungewolltes Betreten ab.
- Das Gegengewicht kann für vielfältige Aufgaben herangezogen werden. Es sichert nicht nur den Antrieb vor dem Schlupf ab, es kann auch die benötigte Gesamtleistung vermindern und die Beschleunigung erhöhen.
- Die Steuerung und der Antrieb sind wesentliche Bestandteile eines Aufzuges. Die Steuerung steuert vorrangig den Antrieb. Daneben regelt sie noch alle wesentlichen Funktionen des gesamten Systems.

Das AiV

Der Lift transportiert das AiV in horizontaler Richtung. Dieses kann selbstständig innerhalb eines Warenlagers die Behälter vom Lagerplatz bis zur Fördertechnik bringen. Dort wird dieser zum Bestimmungsort transportiert.

Das AiV der Firma YLOG hat lenkbare Räder, die sich wie in Abbildung 3.9 gezeigt, verstellen können. Der Vorteil zur Konkurrenz besteht darin, dass dieses Transportmittel jeden Platz im Regal ansteuern kann. Um die Gassen zu wechseln sind im Regal Quergassen eingebaut. Dabei verdreht das AiV seine Räder um 90° und kann sich so durch die Quergasse bewegen.

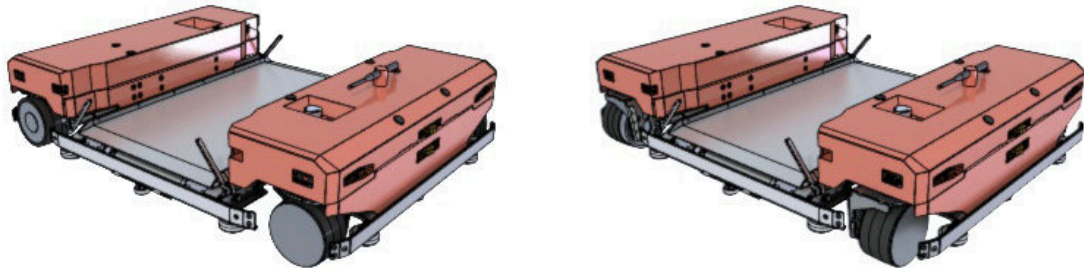


Abbildung 3.9: AiV in Längs und Querfahrt

Es wird in zwei Größen hergestellt: Zum Einfach-Tief-Einlagern eignet sich das AiV 64, Doppeltief das AiV 86. Diese wiegen 55 und 60 Kilogramm.

Jedes AiV kann Behälter mit einem Gesamtgewicht von bis zu 50kg aufnehmen und transportieren. Versorgt wird das AiV von einer Kondensatorbank und einem Lithium – Metall Superkondensator als Langzeitspeicher bei hohem Auftragsvolumen. Diese werden über die Ladekontakte am Lift und in Ladebuchten versorgt. Gesteuert wird das AiV über ein Hybridsystem von Mikroprozessoren und einem Industrie-PC.

Befehle erhält das AiV von einem Rechner genannt Cis über W-Lan, der als Steuerungsrechner die Aufträge vergibt. Die Shuttles planen sich daraufhin selbst den Weg und rufen autonom den Lift. Jede Kommunikation läuft direkt über das Cis.

Im Regal in Schweden ist das AiV 64 geplant, daraus ergibt sich auch der Name des Systems, „Single Straight 64“, also ein Lift der ein AiV angeschlagen an die Längsgasse des Regals transportieren kann.

Richtungsdefinition des Liftsystems

Zwei Richtungen für Lifte sind logisch durch die Gravitation definiert: Oben und Unten. Oben ist die Richtung, die dem Erdmittelpunkt entfernter ist. Unten ist ihm näher.

Zur Bezeichnung der restlichen Richtungen wird folgende Nomenklatur nach Abbildung 3.10 eingeführt, man steht dabei hinter dem Lift und blickt in das Regal:

- Vorne bezeichnet die Richtung zum Regal, Hinten zeigt davon weg

- Links und Rechts ergeben sich aus dieser Blickrichtung

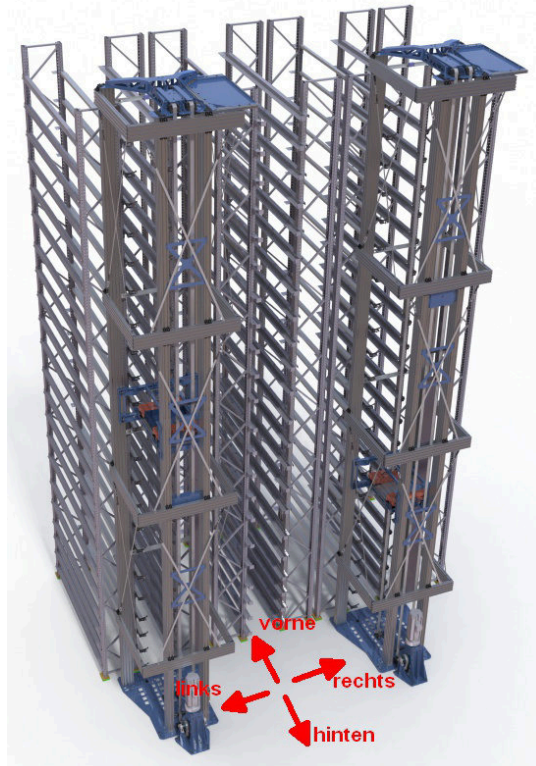


Abbildung 3.10: Richtungen des Lifts

3.1.2. Anforderungsliste des Systems

Tabelle 3.1 zeigt die alle durch Auswertung der Kundenanforderungen, Befragungen von Mitarbeitern des Unternehmens und Analyse des gesamten Lagersystems gefundenen Anforderungen auf das System zusammengefasst in einer Liste.

Nr.	Beschreibung	Größe
1	AiV in die einzelnen Ebenen bringen	> 200 Sp/h
1.1	Wunsch im optimalen Fall	> 500 Sp/h
2	Sicheren Transport gewährleisten	-
3	Sicheres Auf- und Abfahren	-
4	Lautstärke	< 80dB _A
5	Wartbarkeit	Einfach
6	Wartungszyklus	> 0,5a
7	Kostenfaktor	Günstig
8	Änderungsmöglichkeit ausschließlich	Lift und Anbindung
9	Anschlag ans Regal	Straight
10	Absturzsicherung	mechanisch
11	Unterste Anfahrebene	175mm
12	Überbauhöhe	500mm
13	Verbindung zu den Gurtumsetzer schaffen	

Tabelle 3.1: Anforderungen an das System

AiV in die Ebenen bringen

Gefordert ist im Kundenauftrag eine Spielzahl von mehr als 200 Spiele je Stunde. Gemessen wird dies durch den Start des Liftes mit einem voll beladenen AiV an der Fördertechnik. Dieses fährt in der Ebene 46 nach unten. Danach wird ein beladenes AiV in der Ebene 17 aufgenommen und dessen Behälter wieder an der Fördertechnik abgeladen.

Als Wunschziel wäre die Übergabe im optimalen Fall eine Spielzahl von 500. Hier reicht voraussichtlich eine alleinige Betrachtung der mechanischen Komponenten nicht aus, die Software und das Zusammenspiel aller Komponenten sind hier auch noch zu berücksichtigen. Dies erfordert allerdings die Zusammenarbeit aller operativen Abteilungen des Unternehmens.

Sicheren Transport gewährleisten

Diese Forderung zielt auf einen möglichst erschütterungsfreien und sicheren Transport zwischen den Ebenen ab. Teil der Bewertung dieser Forderung ist die Wahrscheinlichkeit des Versagens von Bauteilen während der Bewegung des Liftes.

Sicheres Auf- und Abfahren gewährleisten

Ziel ist es die Auf- und Abfahrt so ruhig und sicher wie möglich zu gestalten. Teil der Bewertung dieser Forderung ist die Wahrscheinlichkeit des Versagens von Bauteilen während des Stillstandes des Liftes.

Lautstärke des Systems

Die Lautstärke des Systems sollte unter 80dB_A liegen. Leisere Bauteile sind zu bevorzugen.

Wartbarkeit

Ziel ist die leichte Zugänglichkeit der Bauteile und das einfache Erkennen von defekten Bauteilen. Auch die Ergonomie bei der Wartung spielt hier eine Rolle.

Wartungszyklus

Alle Bauteile sollten im Idealfall bis zum Abbruch des Systems halten. Bauteile mit sehr kurzen Wartungsintervallen sind zu vermeiden. Ist dies nicht möglich sollten sie frühestens ihre Lebensdauer nach einem halben Jahr erreichen. Ziel ist jedoch eine Lebensdauer von zumindest 6 Jahren bei 16 Stunden täglicher Einsatzzeit und 5 Tage in der Woche Betrieb.

Kostenfaktor

Kosten sind bei Neuentwicklungen schwer zu beurteilen. Man hat kaum vergleichbare Bauteile oder Baugruppen. Auch ist man eher versucht Bauteile zu überdimensionieren. Günstigere Bauteile sind zu bevorzugen.

KO – Kriterien

Die Elemente 9 – 13 der Anforderungsliste sind KO Kriterien, die ein System ausschließen, das nicht alle diese Kriterien erfüllt. Hier ist zu prüfen ob die Teillösungen in all ihren Ausprägungen einer Forderung entgegenstehen und somit auszuschließen sind.

3.2. Suche nach Lösungen

Eine Analyse der Kundenanforderungen und des bisherigen Liftsystems ergab die folgende Funktionen:

- Hauptfunktion ist das Transportieren des AiVs zwischen den Ebenen und der Fördertechnik. Dabei steht der sichere und schnelle Transport im Vordergrund.

- Auch das Auf- und Abfahren, sowie die Verbindung zum Regal, muss sicher und schnell ermöglicht werden.
- Zum Schluss muss noch die Auf-, Ab- oder Umladung eines Behälters ermöglicht werden.

Diese drei Funktionen lassen sich in weitere Teilfunktionen zerlegen, die miteinander zusammenhängen. Diese werden wieder von den verschiedenen Lösungen zusammengefasst.

Kabinenanbindung

Eine Analyse der Abbildung 3.3 im Bezug auf die Zugänglichkeit der Kabine zeigt die drei möglichen Anbindungsarten der Kabine an das Zugmittel nach Abbildung 3.11

- Auf der Deck- und Grundfläche der Kabine
- seitlich, weit genug vorne, das ein Behälter abgegeben werden kann
- auf der Rückseite der Kabine.

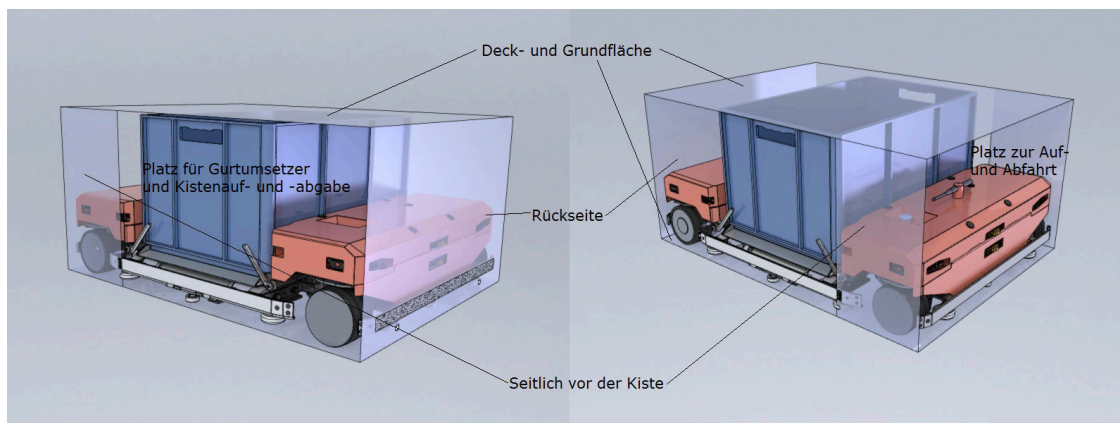


Abbildung 3.11: Befestigungsflächen des Zugmittels an der Kabine

Zugmittel

Nach Tabelle 2.1 eignet sich das Treibscheibenprinzip für diesen Lift am besten. Als Zugmittel kommen hierfür Ketten, Seile und die Verbundform, der Riemen in Betracht. Als Riemen könnten sich Flach- oder Zahnriemen eignen.

Nach [HKS09] weisen Ketten enorme Nachteile gegenüber Seilen auf, wie das größere Gewicht, ungünstiges Bruchverhalten und begrenzte Laufgeschwindigkeit. Vor allem letztere steht der Eignung der Kette als Zugmittel entgegen.

Seile erfordern große Treibscheibendurchmesser, Flachriemen bieten hier einen möglichen Ersatz. Der Zahnriemen schließt als einziges Zugmittel Schlupf sicher aus, was einer Längenmessung ausschließlich über den Motor am einfachsten gestalten würde. Folgende Zugmittel stehen zur Verfügung:

- Seile
- Flachriemen oder
- Zahnriemen.

Liftschacht

In Aufzugsanlagen zumeist aus Beton oder Glas und Stahl bildet der Liftschacht einen eigenen Brandabschnitt. In Kleinteilelager, die keine Stockwerke verbinden, hat der Liftschacht keine brandschutztechnischen Aufgaben, er muss jedoch so ausreichend definiert werden, dass er die Lasten trägt, ohne die Stabilität zu gefährden.

Die Form des Liftschachtes hängt sehr stark mit der Kabinenanbindung zusammen. Dies hat auch Auswirkungen auf die Kräfte auf die Kabine und dadurch auf die Stützelemente des Aufzuges hier besonders der Liftschacht.

Grundlegend gibt es für den Liftschacht zwei verschiedene Aufbauvarianten, ohne einen Betonschacht zu verwenden.

- zusammengeschraubte Aluminiumprofile oder
- Geschweißte Formrohrkonstruktion aus Stahl

Führungselemente bzw. Kabinenführung

Aufzugssysteme verwenden heutzutage meist Rollen die sich auf Präzisionsstahlschienen bewegen oder geschmierte Ölgleiter auf diesen Schienen. Früher wurden diese aus Holz gefertigt, da eine Absturzsicherung sich in ihnen mit Formschluss verstemmen konnten. Dieses Prinzip wurde an den Stahlschienen durch Reibschluss weitergeführt.

Sie haben wesentlichen Einfluss auf die Stabilität der Kabine und ihren ruhigen Lauf und nehmen auch die Querkräfte auf. Die Physik lässt zwei Möglichkeiten um einen beweglichen Kontakt zwischen zwei Körpern herzustellen: gleiten und rollen.

Bestandteile einer Gleitverbindung sind meist kostengünstig und bestehen aus einem harten, verschleißfesten und einem weichen verschleißenden Teil, der bei der Wartung entsprechend oft gewechselt werden muss. Gut eignen sich hier Kunststoff – Metallpaarungen.

Rollverbindungen zeichnen sich durch höhere Laufruhe und Stoßdämpfung aus. Sie sind allerdings wesentlich teurer.

Zusammengefasst kann die Kabine nun geführt werden mit

- Rollen oder
- Gleitschienen

Lage des Motors

Die Lage des Motors bestimmt wesentlich die Anforderungen an das Zugmittel. Ein Ideales Zugmittel weist keine Steifigkeit quer zur Zugrichtung auf, in der Zugrichtung ist es unendlich steif. Diesem Zugmittel ist die Lage des Motors egal. Jedes reale Zugmittel versucht diesem Ideal nahe zu kommen. Es weist in Zugrichtung eine begrenzte Steifigkeit auf. Liegt der Motor an der Oberseite des Liftes, wirkt zwischen der Kabine und dem Motor immer eine Zugkraft, solange diese nicht stärker als die Erdbeschleunigung nach oben gebremst werden soll. Dieser Zustand ist nicht erwünscht, da der Behälter den Kontakt zum AiV verlieren würde. Liegt der Motor an der Unterseite der Kabine, kann es beim Bremsen im unteren Bereich dazu führen, dass die Vorspannung nicht mehr ausreicht das Zugmittel im Bereich zwischen der Unterseite der Kabine und dem Motor im gespannten Zustand zu halten, das Zugmittel erschlafft in diesem Bereich und rutscht im schlimmsten Fall von der Antriebsscheibe. Mögliche Lösungsprinzipien sind

- Lage an der Oberseite des Liftes
- Lage an der Unterseite des Liftes.

Steuerung und Antrieb bzw. Motor und Getriebe

Die Steuerung ist wie schon zuvor bemerkt nicht Teil dieser Arbeit.

Für diese Art des Liftes kommen, aufgrund der Regelaufgaben und Genauigkeitsanforderungen, zwei Arten von Antrieben in Betracht: synchrone und asynchrone Servomotoren.

Synchrone Servomotoren sind geregelte Synchronmaschinen, die jede Drehzahl von 0, auch genannt Halteregelelung, bis zur Grenzdrehzahl erlauben, bei genau regelbarer Geschwindigkeit und Beschleunigung. Dabei wird ein permanenterregter Läufer über eine ein- oder mehrpolige Außenwicklung gesteuert. Diese Antriebe benötigen außer einer Notfallbremse, keine weiteren mechanischen Sicherheitsvorkehrungen.

Der geregelte asynchrone Servomotor benötigt im Stillstand jedenfalls eine Bremse. Er wird über einen Frequenzumrichter betrieben.

In der Praxis erfolgt die Auslegung der Motoren meist gemeinsam mit dem Hersteller oder Händler der Motoren. Die Vorgaben des Kunden werden dabei befolgt. Die Lösungsprinzipien sind:

- Asynchroner Servomotor oder
- Synchroner Servomotor.

Gegengewicht

Der Einsatz eines Gegengewichts ist von vielen Faktoren abhängig. Sei es um das dynamische Moment zu erhöhen oder die erforderliche Leistung des Motors zu vermindern. Es ergeben sich dadurch zwei prinzipielle Lösungsmöglichkeiten

- mit Gegengewicht
- ohne Gegengewicht

Verbindungstechnik zu den Ebenen

Genauso wie in der Aufzugtechnik muss auch hier durch die Verbindungstechnik der Ebenen drei Dinge sicherstellen:

- Ist der Lift auf der Ebene, muss eine sichere Auf- und Abfahrt gewährleistet werden
- Außerhalb dieser Position darf kein Zugang zum Liftschacht möglich sein.
- Während der Fahrt darf die Kabine auch nicht verlassen werden können.

In Aufzugssystemen werden hier zumeist Antriebe auf dem Lift verwendet, die Systeme auf der Ebene mitnehmen. Ähnlich einem zweiteiligen System, mit einer Brücke auf der Kabine und einer Klappe auf dem Regal.

Passive Systeme werden nicht aus dem Fahrweg bewegt. Sie befinden sich in Räumen, die während eines kontrollierten Zustandes nicht berührt werden. Eine Möglichkeit bietet das Prinzip nach Abbildung 3.12.

- Solange sich die Kabine auf der Ebene befindet fährt ein AiV waagrecht auf diese auf.
- Befindet sich keine Kabine auf der Ebene würde sich das AiV nachdem die Vorderräder die Fahrschienen verlassen haben vorne nach unten zu kippen.

Hier bestünde nun die Möglichkeit eine Absturzsicherung einzusetzen, die sich im ersten Fall unter dem AiV befindet, und sich im zweiten mit dem AiV verhakt wie in Abbildung 3.12 Bild d.

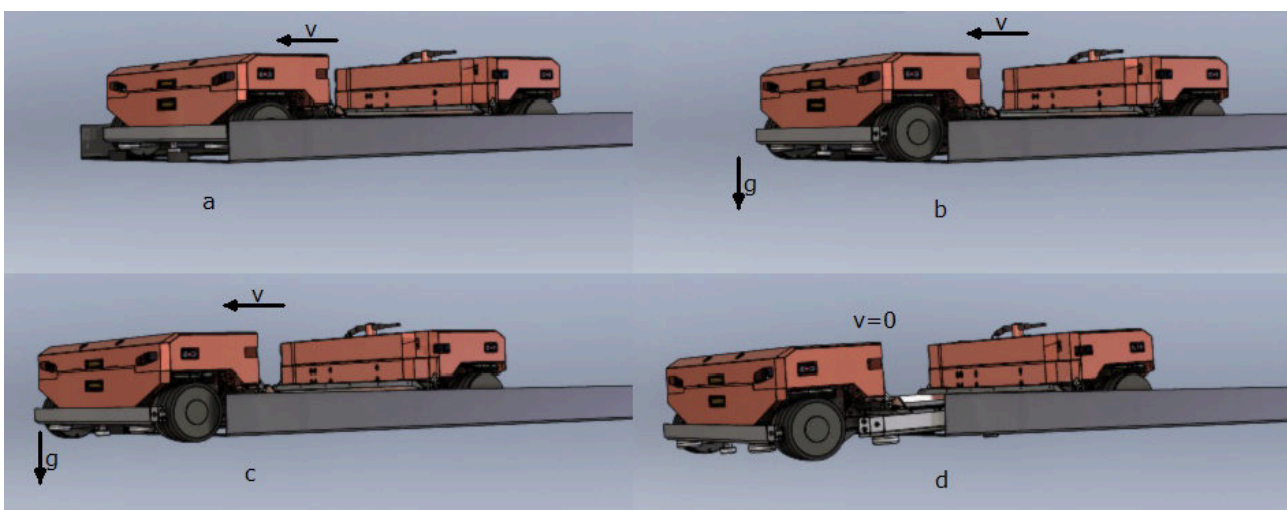


Abbildung 3.12: Bewegungsabläufe Passive Absturzsicherung, a) AiV fährt auf unkontrolliert in den Liftschacht, b) AiV beginnt zu kippen, c) AiV bewegt sich nach vorne und unten, d) AiV verhakt sich an der Absturzsicherung

Aus diesem beiden Betrachtungen lassen sich nun zwei Lösungsprinzipien ableiten:

- aktive Absturzsicherung mit Motor auf der Kabine und
- passive Absturzsicherung auf jeder Ebene.

3.2.1. Zusammenfassung und Ergebnis der Aufgabenstellung

Nach der Analyse von bestehenden Systemen, den Schnittstellen wurden 3 Lösungen nach mithilfe des Morphologischen Kastens nach Tabelle 3.2 gefunden. Deren 3 Schematiken zeigt Abbildung 3.13.

Variante	1	2	3
Kabinenanbindung	Oben und Unten	seitlich	Hinter der Kabine
Zugmittel	Zahnriemen	Seil	Flachriemen
Liftschacht	Aluminiumprofile		Stahlprofile
Kabinenführung	Rollen		Gleitschienen
Motorlage	oben		unten
Motor und Getriebe	Synchronmotor		Asynchronmotor
Gegengewicht	Mit Gegengewicht		ohne Gegengewicht
Verbindungstechnik	aktiv		passiv

Tabelle 3.2: Morphologischer Kasten zur Variantenauswahl der Liftprinzipien

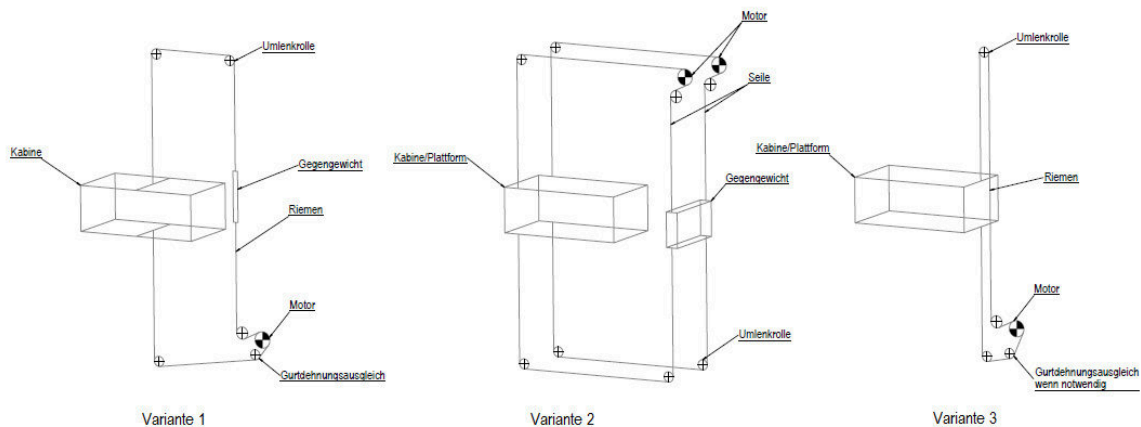


Abbildung 3.13: Schematik der drei Varianten

3.3. Bewertung der Varianten

Im nächsten Schritt werden nun die einzelnen Varianten anhand ihrer Teillösungen bewertet.

Werden für die Bewertungskriterien Massen benötigt, wurde als Gesamtmasse der Kabine 200kg angenommen, aufgeteilt auf einen mit 60kg überladenen Behälter, dem 55kg schweren AiV 64 und den restlichen 85kg als Kabinengewicht.

Angenommene geometrische Abmessungen folgen diese der Abbildung 3.14. Hier reicht eine Betrachtung von der Seite aus, da die Kabine und alle Massen auf ihr in der Breite symmetrisch oder mittig angenommen werden.

Die Abmessungen sind:

Variable	Beschreibung	Wert
b	die Kabinenhöhe	600 mm
	Kabinenlänge	1200 mm
l_k	Schwerpunktsabstand	600 mm
a	von der Vorderseite der Kabine zu der Riemenanbindung	unterschiedlich
l_{AiV}	von der Vorderseite der Kabine zum Schwerpunkt des AiV	550 mm
l_{KLB}	von der Vorderseite der Kabine zum Schwerpunkt des Behälters	575 mm

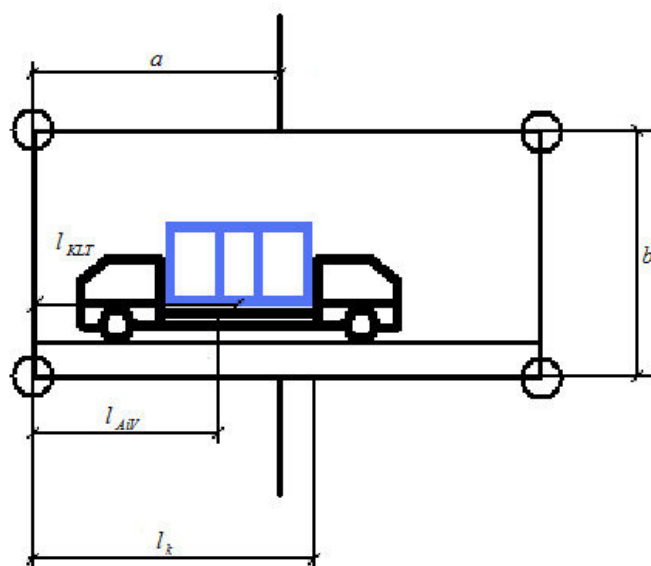


Abbildung 3.14: Dimensionen an der Kabine

Die Rollen befinden sich an allen 8 Außenkanten des Quaders. Die Kräfte haben folgende Bezeichnungen

- F_1 beschreibt die Kraft nach oben bis zum Motor oder dem Gegengewicht.

- F_2 die Kraft zwischen dem Gegengewicht und dem Motor bei der Variante 1, bei der Variante 2 die Kraft zwischen dem Motor und dem Gegengewicht.
- F_3 die Kraft zwischen der Unterseite der Kabine und dem Motor bzw. dem Gegengewicht.

Die Geschwindigkeit für die Berechnungen wurde mit 5m/s und die Beschleunigung mit 5m/s² festgelegt.

3.3.1. Kabinenanbindung

Die Kabinenanbindung hat wesentlichen Einfluss auf die Belastungen an der Kabine, den Führungselementen und damit auf das Gewicht der Kabine. Außerdem haben diese Kräfte wiederum Einfluss auf die Knickung und damit auch auf die Festigkeit des Liftschachtes.

Variante 1

Hier ist die Kabine von oben und unten angebunden. Das bedeutet, dass sich die Zugmittel an der Deckfläche und der Grundfläche der Kabine angreifen. Dieses System erfordert dadurch auch eine geschlossene Kabine. Berechnet man die Kräfte um die Rolle links unten an der Kabine, zeigt sich das Bild nach Abbildung 3.15

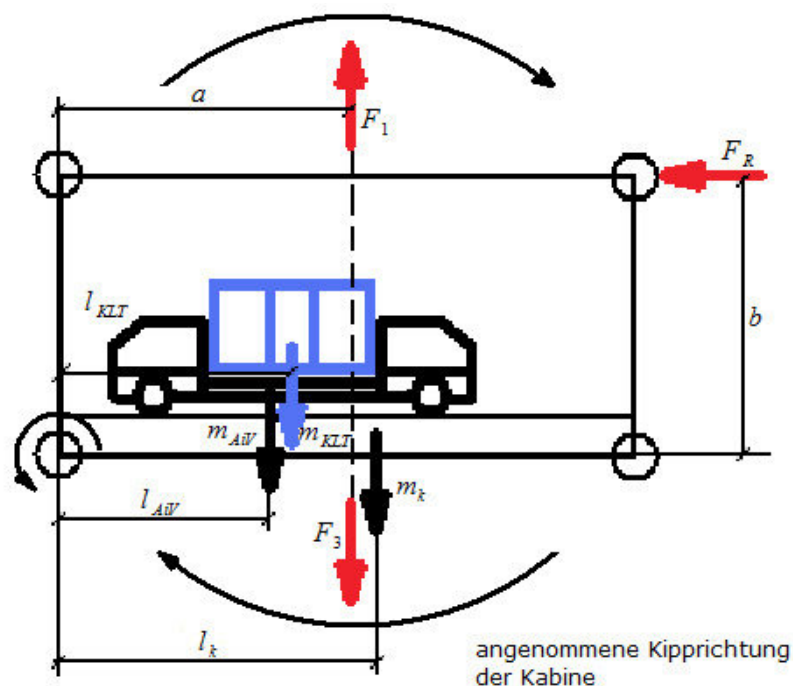


Abbildung 3.15: Kräfte um die Kabine bei der Anbindung oben und unten

Daraus folgt die Kraft auf die Rolle, bei zwei Rollen in der Breite

$$F_R = \frac{-F_1 \cdot a + F_3 \cdot a + g \cdot (m_k \cdot l_k + m_{AiV} \cdot l_{AiV} + m_{KLT} \cdot l_{KLT})}{2 \cdot b} \quad (3.1)$$

Um die Rollenbelastung aufzuheben, muss der Abstand der Kräfte Gleichung 3.2 folgen.

$$a = \frac{g \cdot (m_k \cdot l_k + m_{AiV} \cdot l_{AiV} + m_{KLT} \cdot l_{KLT})}{F_1 - F_3} \quad (3.2)$$

Mit den Bezeichnungen der Kräfte und den Zusammenhängen des Zahnriemens weiter unten folgt die Länge a nach Gleichung 3.3

$$a = \frac{g \cdot (m_k \cdot l_k + m_{AiV} \cdot l_{AiV} + m_{KLT} \cdot l_{KLT})}{(a_k + g) \cdot (m_k + m_{AiV} + m_{KLT})} = \frac{9,81 \cdot (85 \cdot 600 + 55 \cdot 550 + 60 \cdot 575)}{(5 + 9,81) \cdot (85 + 55 + 60)} = 383 \text{ mm} \quad (3.3)$$

Variante 2

Diese Variante besitzt eine Plattform, die seitlich angebunden ist. Der Platz dahinter wird von der Kiste beschränkt, da eine Übergabe auf die Fördertechnik möglich sein muss, wie die Abbildung 3.12 gezeigt wird.

Bei einer Kistenbreite von 400mm, dem Standardmaß des verwendeten Behälters, würde das Maß a, angenommen in der Hälfte des vorhandenen Platzes nach Abbildung 3.16, 187,5 mm betragen. Nach Formel 3.4 folgt damit die Kraft auf die Rolle.

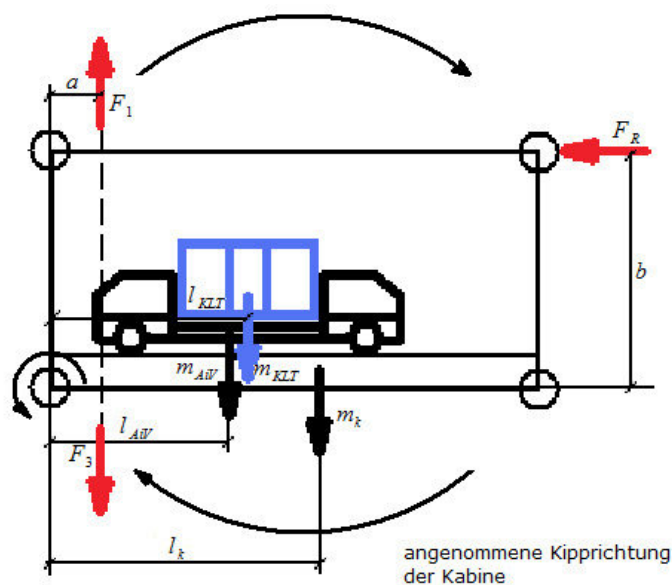


Abbildung 3.16: Kräfte um die Kabine der Variante 2

3.Entwicklung, Analyse und Bewertung von Maßnahmen

Element der Anforderungsliste	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.
1 Spielzahl	kein Einfluss	-	kein Einfluss	-	kein Einfluss	-
1.1	kein Einfluss	-	kein Einfluss	-	kein Einfluss	-
2 Transport	ruhig	3	ruhig	3	ruhig	3
3 Befahren	mit Abstützung sicher	3	höhere Belastung	1	geringere Belastung	2
4 Lautstärke	Kaum wenn Rolle vorgespannt	3	Durch höhere Rollenbelastung lauter	2	Durch höhere Gleitschienenbelastung lauter	2
5 Wartbarkeit	Einfacher	3	Schwieriger, Kabine kann kippen	2	Kabine muss abgestützt werden.	0
6 Wartung	Durch geringere Belastung länger	3	Mittlere Dauer	1	Mittlere Dauer	1
7 Kostenfaktor	am billigsten	4	mittel	2	am teuersten	0
8 Änderung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
9 Regalverbindung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
10 Absturzsicherung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
11 Überbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
12 Unterbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
13 Gurtumsetzer	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-

Tabelle 3.3: Bewertung der Teillösungen Kabinenanbindung

3.3.2. Zugmittel

Die hier in Betracht gezogenen Zugmittel, Riemen und Seile sind sich sehr ähnlich. Der Riemen besteht aus Seilen, die mit einem Kunststoff umgossen sind. Sie teilen sich in Flachriemen und Zahnriemen. Letztere haben den Vorteil, dass sie nach dem Einlaufen, dem mehrmaligen Nachspannen während der Inbetriebnahmephase, keinen Schlupf aufweisen, die Umdrehungen des Motorläufers direkt mit der Höhe der Kabine am Lift zusammenhängen.

Dem entgegen steht das Seil und der Flachriemen, sie weisen Schlupf auf. Beim Seil ist ein Gegengewicht notwendig, der Flachriemen muss so vorgespannt werden, das es zu keinen Kräften kommen kann die größer sind als die Vorspannung

Variante 1

Diese Variante nutzt einen Zahnriemen. Bisher wurden Zahnriemen der Firma Breco eingesetzt. Diese bieten nach den Informationen aus der Einkaufsabteilung das beste Preis-Leistungsverhältnis. Die folgenden Berechnungen entsprechen dem Vorgaben des

Herstellers (siehe [BRE10]).

Ausgehend von der theoretischen Kabine beträgt die maximale Kraft auf den Riemen beim Nach-Oben-Beschleunigen

$$F_1 = (m_k + m_{AiV} + m_{KLT}) \cdot (g + a) = 200 \cdot 14,81 = 2962 \text{ N} \quad (3.6)$$

Die Grobvorauswahl nach [BRE10] S.152 definiert als passenden Riemen den ATL10 mit einer Breite von 50mm:

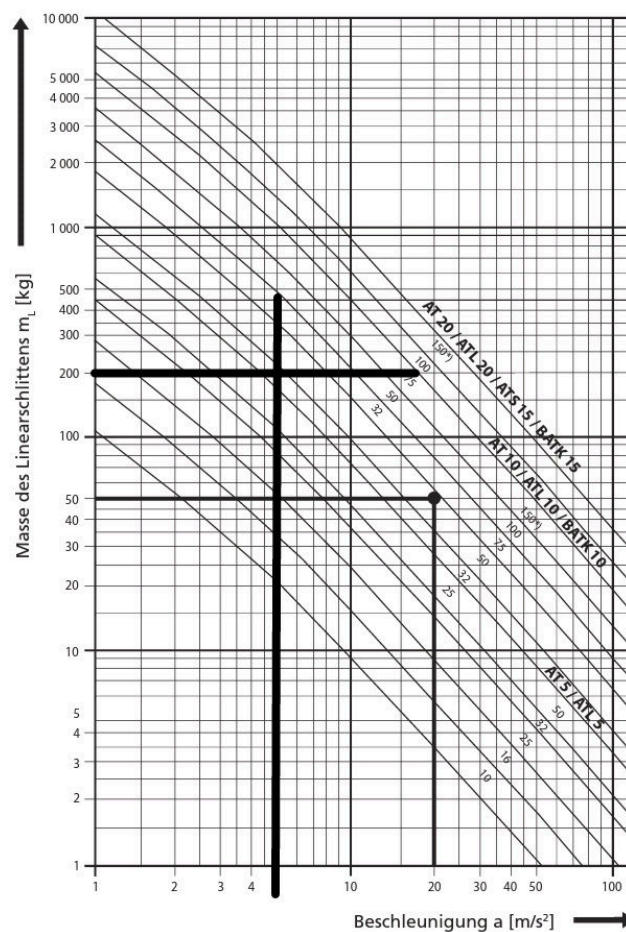


Abbildung 3.18: Riemenvorauswahl aus [BRE10]

Dieser weist folgende Werte auf:

F_{Tzul}	Zulässige Seilzugkraft	11200 N
C_{spez}	spezifische Federrate	$2,8 \cdot 10^6 \text{ N}$
	Riemengewicht	0,340 kg/m

Die spezifische Zahnkraft ist abhängig von der Geschwindigkeit der Riemenscheibe. Bei einer Geschwindigkeit von 5m/s kommen durch die begrenzte Auswahlmöglichkeit der Getriebeübersetzungen wenige Riemenscheibendurchmesser in Betracht, die höchste

wählbare Drehzahl durch das Getriebe liegt im Bereich von 600 U/min. Die spezifische Zahnkraft hat den Wert von $F_{tspez} = 55,50 \text{ N/cm}$. Damit lassen sich folgende Werte berechnen:

Mindestbreite des Riemens:

$$b = \frac{F_1}{z_e \cdot F_{tspez}} = \frac{2962}{12 \cdot 55,50} = 4,447 \text{ cm} \Rightarrow b = 5 \text{ cm} \quad (3.7)$$

Vorspannkraft:

$$F_{TV} = F_1 \cdot 1,3 = 2962 \cdot 1,3 = 3850,6 \quad (3.8)$$

und daraus die Frequenz bei einem Vorspannweg von 1m:

$$f = \sqrt{\frac{F_{TV}}{4 \cdot m_R \cdot l_t^2}} = \sqrt{\frac{3850,6}{4 \cdot 0,34 \cdot 1^2}} = 53,21 \text{ Hz} \Rightarrow f = 54 \text{ Hz} \quad (3.9)$$

Die gewählte Vorspannfrequenz entspricht einer Kraft von:

$$F_V = f^2 \cdot l_t^2 \cdot 4 \cdot m_R = 54^2 \cdot 1^2 \cdot 4 \cdot 0,34 = 3965,76 \text{ N} \quad (3.10)$$

Gesamtbelastung des Riemens:

$$F_{ges} = F_V + F_1 = 3965,76 + 2962 = 6927,76 < F_{Tzul} = 11200 \text{ N} \quad (3.11)$$

Um den Sicherheitsbedürfnis nachzukommen, im wesentlichen beim Fokus auf die Höhe des Liftes wurde beschlossen einen weiteren Riemen einzubauen, um dem Versagen eines einzelnen Riemens vorzubeugen. Dies verändert die erforderliche Riemenvorspannkraft:

$$F_{TV} = \frac{F_1 \cdot 1,3}{2} = \frac{2962 \cdot 1,3}{2} = 1925,3 \quad (3.12)$$

Damit die geänderte Vorspannfrequenz:

$$f = \sqrt{\frac{F_{TV}}{4 \cdot m_R \cdot l_t^2}} = \sqrt{\frac{1925,3}{4 \cdot 0,34 \cdot 1^2}} = 37,62 \text{ Hz} \Rightarrow f = 38 \text{ Hz} \quad (3.13)$$

Daraus die Resultierende Vorspannkraft und die Gesamtbelastung:

$$F_V = f^2 \cdot l_t^2 \cdot 4 \cdot m_R = 38^2 \cdot 1^2 \cdot 4 \cdot 0,34 = 1963,48 \text{ N} \quad (3.14)$$

$$F_{ges} = F_V + \frac{F_1}{2} = 1963,48 + \frac{2962}{2} = 3444,84 < F_{Tzul} = 11200 \text{ N} \quad (3.15)$$

Variante 2

Ersetzt man den Zahnriemen durch ein Seil, läuft die Berechnung nach DIN15020 ([HKS09] S.21ff)

Nach der mittleren Laufzeit des Lifts je Tag folgt nach [HKS09], Tabelle 2.4 eine Triebwerksgruppe von 4_m. Damit errechnet sich der erforderliche Seildurchmesser nach Gleichung 3.16.

$$d_{min} = c \cdot \sqrt{F_1} = 0,132 \cdot \sqrt{2962} = 7,184 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm} \quad (3.16)$$

Daraus folgt der kleinste erforderliche Seilrollendurchmesser. Für die Triebwerksgruppe 4_m und dem im Schema festgelegten Zugmittelverlauf ergibt einen Durchmesser nach Gleichung 3.17

$$D_{min} = h_1 \cdot h_2 \cdot d_{min} = 28 \cdot 1,25 \cdot 8 = 280 \text{ mm} \quad (3.17)$$

Dieser Durchmesser entspricht mehr als dem Doppelten der Zahnriemenräder. Mit den erforderlichen Anfahrts- und Überbauhöhen entfällt eine Anbindung an der Grund- und Deckfläche der Kabine. Dies wird durch die gewählte Anbindungsform an der Seite unterstützt.

Variante 3

Breco liefert für seine Flachriemen nach [BRE11] leider keine Berechnungsgrundlagen mit, daher werden die Formeln für den Zahnriemen verwendet. Die Gleichungen 3.11 und 3.15 liefern für die Gesamtbelastung des Riemens eine Maximalkraft von 6927,76N bzw. 3444,84N. Nach [BRE11] lässt dies die Wahl zwischen verschiedensten Flachriemen. Eine Anfrage bei verschiedensten Lieferanten ergab Lieferprobleme, da diese nicht vorrätig waren.

Bewertung der Varianten

Element der Anforderungsliste	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.
1 Spielzahl	Gut, hohe Geschwindigkeiten möglich	3	Mittel, hohe Spielzahlen ergeben kürzere Lebensdauer	2	Gut, hohe Geschwindigkeiten möglich	3
1.1	s.o.	3	Schlechter als 1	1	s.o.	3
2 Transport	ruhig	3	ruhig	3	ruhig	3
3 Befahren	Problemlos durch Formschluss	3	Muss eigens betrachtet werden	2	Muss eigens betrachtet werden	2
4 Lautstärke	spannungsabhängig	2	Laufgeäusch kaum hörbar	3	leise	3
5 Wartbarkeit	Durch Sicherheit dauerhaft	4	Erreicht Ablegereife	2	Durch Sicherheit Dauerfest.	4
6 Wartung	dauerfest	4	Muss überprüft werden	2	dauerfest	4
7 Kostenfaktor	mittel	2	günstig	3	Mittel, schwer zu beschaffen	1
8 Änderung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
9 Regalverbindung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
10 Absturzsicherung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
11 Überbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
12 Unterbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
13 Gurtumsetzer	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-

Tabelle 3.4: Bewertung der Teillösung Zugmittel

3.3.3. Liftschacht

Der Liftschacht trägt das Gewicht der Kabine mit der Zuladung, die Kräfte an der Kabine und muss die Belastungen der Führungsrollen aufnehmen. Letzteres hat wesentlichen Einfluss auf die Knicklänge des Systems. Je nach Anbindung des Zugmittels ist diese stärker oder schwächer. Um einen Vergleich darstellen zu können wird das erforderliche Trägheitsmoment der Steher berechnet.

Variante 1 besitzt dabei die beste Lösung. Die Kräfte von der Kabine auf die Steher sind am geringsten, es wirken hier bei optimaler Anbindung nur die Kräfte des Zugmittels.

Bei der Variante 2 und 3 stützen sich hohe Kräfte auf die Steher ab. diese haben einen Starken Einfluss auf auf die Knicklänge und damit auf die Steherform.

Variante 1

Durch die Kabinenanbindung, die keine Querkräfte zulässt, entspricht diese Variante für eine grobe Bestimmung der Stehergeometrie dem Eulerschen Knickfall 1. Ausgehend von der gleichmäßigen Verteilung der Kräfte auf alle 4 Steher folgt daraus das erforderliche Trägheitsmoment je Steher

$$I_{\text{erf}} = \frac{4 \cdot l^2 \cdot F_k}{\pi^2 \cdot E} = \frac{4 \cdot 23000^2 \cdot 2 \cdot 7000}{4 \cdot \pi^2 \cdot 70000} = 1072 \text{cm}^4 \quad (3.18)$$

Variante 2

Die Belastung auf den Steher weist bei dieser Variante wesentliche Unterschiede auf. Zusätzlich zu der Kraft durch das Seil von oben wirkt hier noch eine Kraft quer auf den Steher. Aus der Differentialgleichung der Knickung folgt die Gleichung der Biegelinie nach Gleichung 3.19 aus [CEB04] S.180 Gl. 11.22

$$\delta w(x) = \delta C_1 \sin(\alpha \cdot x) + \delta C_2 \cos(\alpha \cdot x) + \delta C_3 \cdot x + \delta C_4 \quad \text{mit} \quad \alpha = \frac{F_2}{E \cdot I} \quad (3.19)$$

Mit den Rand und Übergangsbedingungen nach Abbildung 3.19 folgt

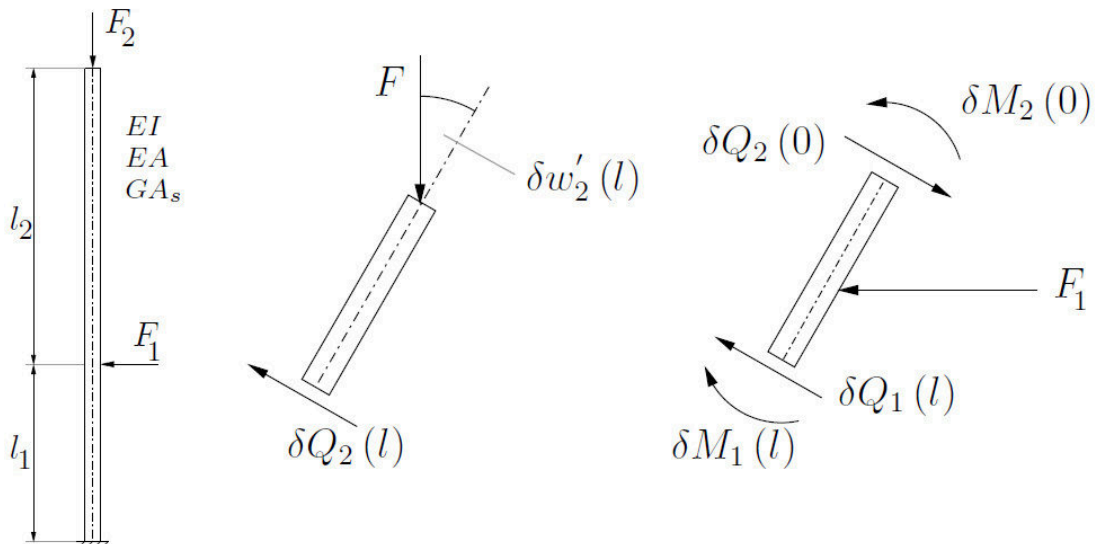


Abbildung 3.19: Ansatz, Rand- und Übergangsbedingungen zur Knickungsberechnung

die Knickbedingung nach Gleichung 3.20.

$$\frac{F_1}{F_2} (\cos(\alpha \cdot l_2) - \cos(\alpha \cdot l_1) \cdot \cos(\alpha \cdot l_2)) = \cos(\alpha \cdot (l_1 + l_2)) \quad (3.20)$$

Selbst für kleine Kräfte F_1 muss das erforderliche Trägheitsmoment größer sein als im unbelasteten Fall. Dies erfordert einen intensiveren Materialeinsatz. Abbildung 3.20 zeigt die Länge des Liftes in Verhältnis zur Kraft F_1 beim Angriff in an der Steherspitze.

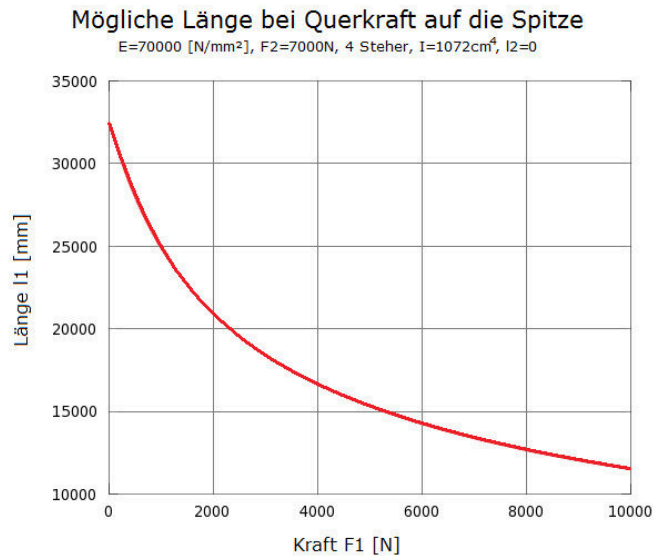


Abbildung 3.20: Steherlänge im Verhältnis zur Kraft

Variante 3

Durch die nachteilige Anbindung der Kabine ist die Querkraft auf den Steher im Vergleich zu den anderen Varianten am größten, so fordert diese Variante den größten Materialeinsatz.

Bewertung der Varianten

Element der Anforderungsliste	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.
1 Spielzahl	Beschleunigungs-abhängig	3	Beschleunigung und Querkraft	2	Beschleunigung und Querkraft	1
1.1	s.o. dadurch schlechter	2	Noch schlechter	1	Noch schlechter	1
2 Transport	ruhig	3	Etwas unruher	2	ruhig	3
3 Befahren	sicher	3	sicher	3	sicher	3
4 Lautstärke	Kaum	3	Lauter durch Körperschallübertragung	1	Kaum	3
5 Wartbarkeit	schwierig	1	Sehr schwierig	0	schwierig	1
6 Wartung	Verm. dauerhaft	3	dauerfest	4	Verm. dauerhaft	3
7 Kostenfaktor	am billigsten	4	mittel	2	am teuersten	0
8 Änderung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
9 Regalverbindung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
10 Absturzsicherung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
11 Überbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
12 Unterbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
13 Gurtumsetzer	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-

Tabelle 3.5: Bewertung der Teillösung Liftschacht

3.3.4. Kabinenführung

Einen wesentlichen Einfluss auf das Laufverhalten der Kabine hat die Kabinenführung. Diese ist auch die Teilfunktion des Liftes welche am häufigsten geändert wurde.

Varianten 1 und 2

Eine Kabinenführung mit Rollen ist je nach Verbindung mit der Kabine sehr gut geeignet Unebenheiten, z.B. durch Stöße oder Schweißverbindungen abzufangen. Hier eignen sich dicke Beläge der Rollen genauso gut wie gefederte Hebelsysteme, die die Rollen an den Steher drücken.

Je genauer der Steher gefertigt wurde, insbesondere die Laufflächen und die Stöße sind hier von Bedeutung, desto weniger „Ausgleichsarbeit“ muss die Rolle leisten. Für die Variante 1, mit Aluminiumprofile als Steher, werden Rollen mit fixer Zustellung vorgeschlagen und für die Variante 2, mit geschweißten Profilrohren, gefederte Rollensysteme.

Variante 3

Die in dieser Variante verwendeten Aluminiumprofile bieten wesentliche Vorteile, ihre Nuten können für Gleitkörper verwendet werden. Auch können diese durch die genaue Fertigung als annähernd stoßfrei betrachtet werden. Dadurch ist eine ungewollte Abnutzung der Gleitflächen so gut wie ausgeschlossen. Um die Gleitschienen an die Steher zu drücken werden Federn vorgeschlagen.

Bewertung der Varianten

Element der Anforderungsliste	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.
1 Spielzahl	gut	3	besser	4	gut	3
1.1	mittel	2	gut	3	mittel	2
2 Transport	Gut	3	Gut	3	Leichte Stöße	2
3 Befahren	gut	3	gut	3	gut	3
4 Lautstärke	leise	3	leise	3	Etwas lauter	2
5 Wartbarkeit	einfach	4	aufwendiger	3	aufwendiger	3
6 Wartung	lang	3	mittel	2	Sehr lang	4
7 Kostenfaktor	Keine Hebelmechanik	3	Mechanik	1	Keine Hebelmechani, Federn	3
8 Änderung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
9 Regalverbindung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
10 Absturzsicherung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
11 Überbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
12 Unterbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
13 Gurtumsetzer	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-

Tabelle 3.6: Bewertung der Kabinenführung

3.3.5. Lage des Motors

Der Antrieb kann an der Oberseite oder der Unterseite des Liftes befestigt werden. Nähert sich die Kabine einem an der Oberseite liegenden Motor an, muss dieser an dem Riemen ziehen. Entfernt diese sich vom Antrieb, muss der Motor den Fall der Kabine bremsen, solange die Maximalbeschleunigung nicht über die Erdbeschleunigung steigt. Ein Zugmittel das hier eingebaut ist, wird zwischen dem Motor und der Kabine immer auf Zug gehalten, ein „Peitscheneffekt“ oder Springen des Zahnriemens nach [Per09] ist nahezu auszuschließen.

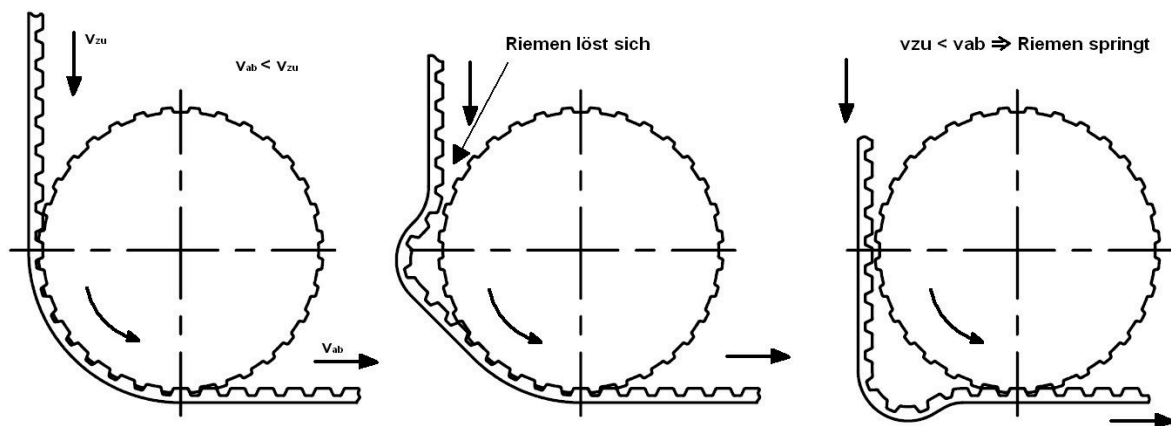


Abbildung 3.21: Riemenspringen nach [Per09]

Unter Springen versteht man, gezeigt in Abbildung 3.21, die plötzliche und ungewollte Lageänderung eines Riemens auf der Riemenscheibe. Dabei geht eine Welle über die Scheibe, bei der Zahnriemen im günstigsten Fall nur um einen ganzen Zahn weiterspringt, im ungünstigsten jedoch nur teilweise. Er läuft auf die Zahriemenscheibe auf, wird dadurch überspannt und kann dabei reißen. Bei der Inbetriebnahme des Prototyps wurden diese typischen peitschenden Geräusche wahrgenommen. Lösung dabei wäre der Einsatz eines Riemenspanners nach Abbildung 3.22. Dieser gleicht den erforderlichen Weg über eine Feder und einen Hebel gegen den Riemen aus.

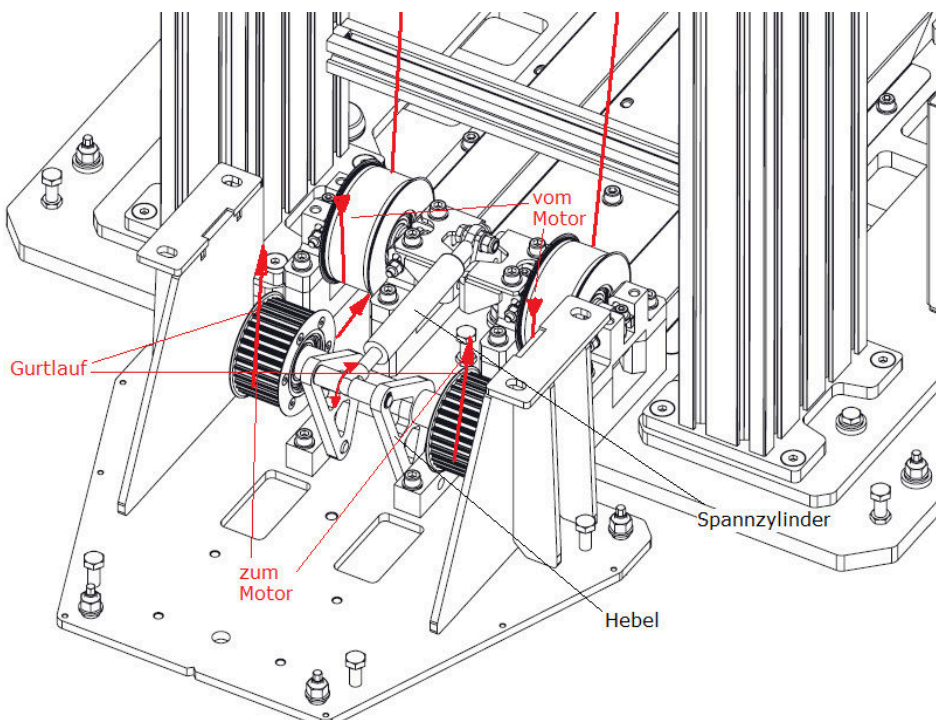


Abbildung 3.22: Riemendehnungsausgleich

Der Lage an der Oberseite steht jedoch die Wartbarkeit des Antriebes entgegen. Bessere Wartbarkeit bietet die Motorlage auf der Unterseite. Bewegt sich bei dieser Ausführung die Kabine in Richtung des Motors bremst der Motor die Kabine von oben. Je weiter sich die Kabine nach unten bewegt, desto länger wird das Teilstück zwischen der Kabinenoberseite und dem Motor. Das Teilstück des Zahnriemens, der unter der Kabine zum Motor läuft wird immer kürzer. Ab einem bestimmten Punkt ist die Riemendehnung über der Kabine größer als die mögliche Riemendehnung unter der Kabine, der Riemen springt. Hier ist eine ausreichende Vorspannung unbedingt notwendig. Kann danach noch ein springen nicht ausgeschlossen werden ist ein Riemendehnungsausgleich erforderlich.

Bewertung der Varianten

Element der Anforderungsliste	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.
1 Spielzahl	beschleunigungsabhängig	2	Optimal bis zur Erdbeschleunigung	3	beschleunigungsabhängig	2
1.1	s.o.	2	s.o.	3	s.o.	2
2 Transport	Springen möglich	2	Gegengewichtsabhängig	2	Springen möglich	2
3 Befahren	neutral	-	neutral	-	neutral	-
4 Lautstärke	Etwas lauter am Boden	3	Leiser am Boden	4	Etwas lauter am Boden	3
5 Wartbarkeit	Einfach, am Boden	4	Sehr schwierig	2	Einfach, am Boden	4
6 Wartung	Gut	3	Gut	3	Gut	3
7 Kostenfaktor	Teurer	2	günstiger	3	teurer	2
8 Änderung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
9 Regalverbindung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
10 Absturzsicherung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
11 Überbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
12 Unterbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
13 Gurtumsetzer	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-

Tabelle 3.7: Bewertung der Motorlage

3.3.6. Motor und Getriebe

Die Auswahl des Motors und des zugehörigen Getriebes hängt stark mit den vom gewählten Hersteller lieferbaren Komponenten zusammen. Die Auswahl erfolgt zumeist direkt mit dem Hersteller. Tabelle 3.8 bietet einen Überblick über die Vor und Nachteile der beiden Motorprinzipien.

Motorprinzip Kriterium	Asynchronmotor Käfigläufer (ASM)	Synchronmotor permanenterr. (SM)
Versorgung:	Umrichter (3 Phasig)	Umrichter (3 Phasig)
Kleine Drehzahlen:	$ n > 0$; ungünstig, Verluste infolge Schlupf	$ n \geq 0$; günstig
Große Drehzahlen:	ungünstig, Fliehkräfte	geeignet
Bremsbetrieb:	gesteuert, aufwendig	gesteuert, aufwendig
Steuerung/Regelung:	Frequenzumrichter Industriestandard	Frequenzumrichter Industriestandard
Regelung:	Feldorientiert; Sehr aufw., infolge Schlupf $(\varphi_\psi = ?)$; $M_{max}/M_{nenn} = 2$	feldorientiert, Industriestandard $M_{max}/M_{nenn} = 4$
Verbreitete Sonderformen:	2phasen Servomotor	Schrittmotor
Baugröße	großer Durchmesser	schlank
Kosten Motor:	gering	hoch
Kosten Regelung Stellglied:	hoch	hoch
Bewertung	Industriereif für „Standardeinsätze“	Industriestandard

Tabelle 3.8: Vergleich Asynchron- mit Synchronservomotor nach [OSE07]

Varianten 1 und 2

Die in dieser Variante verwendeten synchrone Servomotoren werden von allen Herstellern empfohlen. Er hat durch seine schlanke Bauweise Vorteile in der Beschleunigung. Die passenden Getriebe sind das wartungsaufwändigste Bauteil im Lift. Sie sind Ölgefüllt und dieses muss in regelmäßigen Abständen gewechselt werden. Zuerst nach einer kurzen Einlaufphase danach sind diese laufend zu kontrollieren und bei Bedarf das Öl zu wechseln.

Variante 3

Der Asynchronmotor hat ein höheres Trägheitsmoment. Die Getriebe des Asynchronmotors sind baugleich zu denen des Synchronmotors. Preislich liegt der Asynchronmotor unter dem des Synchronmotors.

Bewertung der Varianten

Element der Anforderungsliste	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.
1 Spielzahl	Kaum Einfluss	3	Kaum Einfluss	3	Wenig Einfluss	2
1.1	s.o,	3	s.o.	3	s.o.	2
2 Transport	Sehr Gut	4	Sehr Gut	4	Gut	3
3 Befahren	Sehr Gut	4	Sehr Gut	4	Haltebremse erforderlich	2
4 Lautstärke	Sehr Gut, leise	4	Sehr Gut, leise	4	Etwas lauter, gut	3
5 Wartbarkeit	Gut	3	Gut	3	Gut	3
6 Wartung	mittel	2	mittel	2	mittel	2
7 Kostenfaktor	teurer	2	teurer	2	Etwas billiger	3
8 Änderung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
9 Regalverbindung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
10 Absturzsicherung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
11 Überbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
12 Unterbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
13 Gurtumsetzer	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-

Tabelle 3.9: Bewertung der Motor und Getriebeprinzipien

3.3.7. Gegengewicht

Das Gegengewicht bei den Varianten 1 und 2 hat unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen. Zum einen muss die Verbindung mit der Antriebsscheibe hergestellt werden, zum anderen kann damit die erforderliche Leistung herabgesetzt werden.

Variante 1

Betrachtet man die Leistungsanforderung des Motors, und die damit zusammenhängenden elektrischen Komponenten, zeigt sich, dass die Leistungsstufen wesentlichen Preissprüngen unterliegen. Das Gegengewicht kann hier regulierend eingreifen und die erforderlichen Leistungen in gewissen Bereichen senken.

Variante 2

Seile würden bei der eingesetzten Konstruktion auf jeden Fall ein Gegengewicht benötigen, da diese bei allen Antrieben notwendig und vorgeschrieben sind bei denen die Kraft auf das Zugmittel über eine Treibscheibe mit Kraftschluss aufgebracht wird. Durch die Eytelwein'sche Gleichung muss das Gegengewicht zumindest so groß sein, das eine Überlastung des Antriebes zu keinem Rutschen des Seiles an der Riemenscheibe führen

kann. Aus Gleichung 3.21 folgt das das Gegengewicht zumindest 324,4 kg schwer sein wenn man von reiner Stahl auf Stahl-Reibung ausgeht ($\mu=0,15$) muss.

$$F_K \leq F_{GGW} \cdot e^{(\mu_H \cdot \alpha_w)} \Rightarrow m_K \cdot (g+a) \leq m_{GGW} \cdot (g-a) \cdot e^{(\mu_H \cdot \alpha_w)} \Rightarrow$$

$$m_{GGW} \geq m_K \cdot \frac{g+a}{g-a} \cdot e^{(-\mu_H \cdot \alpha_w)} = 200 \cdot \frac{14,81}{4,81} \cdot e^{(-0,15 \cdot \pi)} = 384,4 \text{ kg} \quad (3.21)$$

Variante 3

Hier wird kein Gegengewicht eingesetzt. Dies macht den Lift in diesem Bereich etwas günstiger. Welchen Einfluss jedoch das Gegengewicht auf die gesamten Kosten, z.B. ob ein stärkerer Motor notwendig wird, kann in diesem Stadium nicht abgeschätzt werden.

Bewertung der Varianten

Element der Anforderungsliste	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.
1 Spielzahl	Verbessert	4	Notwendig zum Beschleunigen	3	Geschätzt schlechtere Dynamik	3
1.1	s.o.	4	s.o.	4	s.o.	3
2 Transport	Weder besser noch schlechter	4	Notwendig	3	Weder besser noch schlechter	4
3 Befahren	Kein Einfluss	-	Kein Einfluss	-	Kein Einfluss	-
4 Lautstärke	Kein Einfluss	-	Kein Einfluss	-	Kein Einfluss	-
5 Wartbarkeit	gut	3	gut	3	Keine notwendig	4
6 Wartung	Abhängig von der Führung	3	Abhängig von der Führung	3	Weniger Aufwand	4
7 Kostenfaktor	Etwas erhöht	3	Etwas erhöht	3	keine	4
8 Änderung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
9 Regalverbindung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
10 Absturzsicherung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
11 Überbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
12 Unterbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
13 Gurtumsetzer	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-

Tabelle 3.10: Bewertung des Gegengewichts

3.3.8. Verbindung zum Regal

Die Verbindungstechnik zum Regal hat wesentlichen Einfluss auf die Fehlertoleranz bzw. -kompensation des Lifes. Da der Fokus auf die mechanische Seite in dieser Arbeit gelegt wurde, kann man mit diesem Teilsystem wesentlich die Spielzeit beeinflussen.

Variante 1 und 2

Entfernbarer Absperrungen sind am einfachsten über ein Rotationsprinzip zu lösen. Linearbewegungen haben den Nachteil des „Schubladeneffektes“, durch leichte Schrägstellungen des Geleitkörpers blockieren diese die gesamte Bewegung.

Außerdem gilt, dass ein System das je Lift nur einmal eingesetzt wird, teurer sein kann, als ein System das in jeder der 62 Ebenen eingebaut wird um insgesamt günstiger zu sein.

Dieses System besteht aus 2 Teilen, der Fahrbahnklappe und der Absturzsicherung am Regal.

Die Fahrbahnklappe wird an der Kabine angebaut und hat folgende Aufgaben:

- Absperrung der Kabine.
- Überbrückung des Abstandes zwischen Kabine und Regal
- eventuelle Betätigungsvorrichtung

Die Verbindung von der Kabine zum Regal kann am einfachsten mit einer Brücke durchgeführt werden. diese muss sich während der Fahrt aus dem Bereich entfernen. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten:

- eine Hebebrücke mit einem Parallelogrammantrieb
- eine Klappbrücke oder
- eine Schiebebrücke.

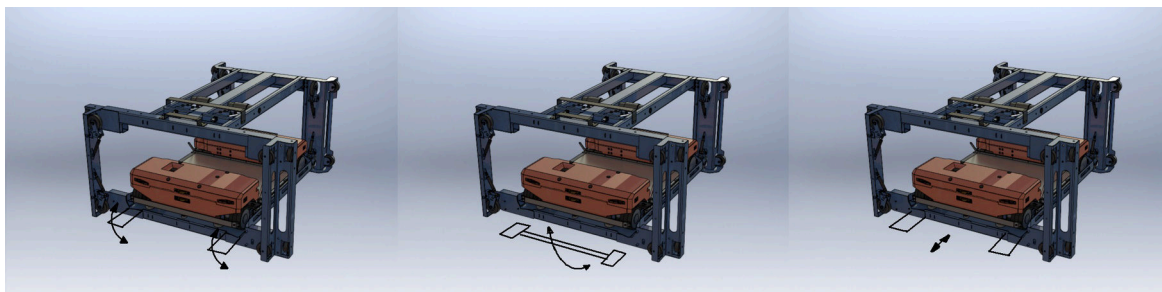


Abbildung 3.23: Brückenarten, links Klappbrücke, Mitte Hebebrücke und rechts Schiebebrücke

Letztere hat wiederum das Problem des oben genannten Schubladeneffektes.

Außerdem bietet sich hier die Betätigung durch einen Motor an, da dieser je Lift nur einmal aufgebaut wird, und nicht auf jeder Ebene einzeln.

Eine geometrische Untersuchung, gemeinsam mit der Absturzsicherung, schloss die Hebe- und Schiebebrücke aus, übrig blieb die Klappbrücke.

Die Absturzsicherung hat folgende Aufgaben:

- Blockierung der Ebene und Stoppen eines fehlerhaften AiVs
- Ermöglichen der Auf- oder Abfahrt eines AiV auf die Kabine.

Dazu eignet sich ein Klappmechanismus, der mit der Brücke oder separat betätigt wird.

Die Klappe kann sich über jeweils eine der drei Raumachsen drehen:

- nach oben oder unten quer zur Fahrbahn
- längs zu ihr
- oder wie eine Saloontür nach vorne oder zurück.

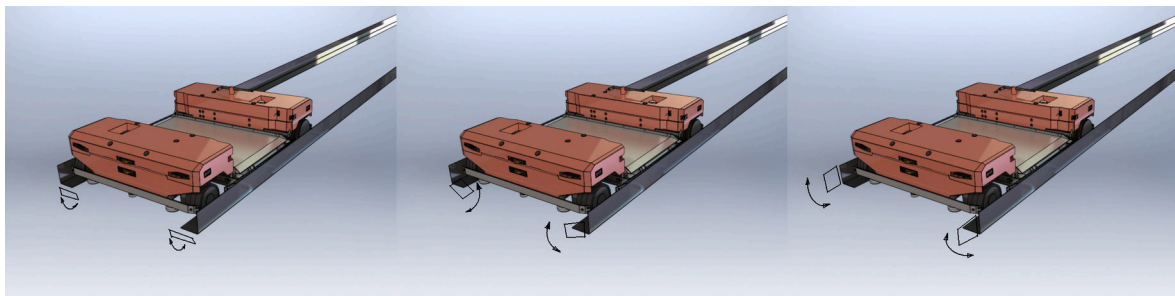


Abbildung 3.24: Bewegungsrichtungen der Absturzsicherung: links nach unten, mitte drehend um die Fahrbahnschiene und rechts schwenkend wie eine Saloontür

Am aufwändigsten ist eine „Saloontür“, da diese einen Fremdantrieb, zum Beispiel eine Feder, benötigt. Alle anderen drehen sich um eine Achse, mit der man die Gravitation ausnützen kann. Dadurch bewegen sich diese ohne Hilfsmittel in die Ausgangsstellung zurück.

Ein Vergleich der Klappbrücke mit den beiden übriggebliebenen Prinzipien zeigt die Vorteile der Bewegung nach unten, da diese mit der Brücke einfacher ineinandergreifen können.

Variante 3

Eine Passive Absturzsicherung spart Kosten im Tausch gegen Sicherheit. Das AiV muss nach der Abbildung 3.12 weit in den Liftschacht ragen um gestoppt zu werden. Der Lift selbst kommt nach ca. 2,5m zum Stillstand. Die Wahrscheinlichkeit einer Fehlfunktion eines AiVs kombiniert mit der Wahrscheinlichkeit das ein Lift gerade dann sich auf dieses gefährlich zubewegt ist gemeinsam sehr gering. Nimmt man daher das eine oder andere beschädigte AiV in kauf, kann auch eine passive Absturzsicherung eingesetzt werden.

Bewertung der Varianten

Element der Anforderungsliste	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.	Auswirkung	Pkt.
1 Spielzahl	Zusätzliche Verzögerung	3	Zusätzliche Verzögerung	3	Keine Verzögerung	4
1.1	s.o.	2	s.o.	2	s.o.	4
2 Transport	Sicher, kein herausfallen möglich	4	Sicher, kein herausfallen möglich	4	Herausfallen möglich	2
3 Befahren	Sicher, kann nicht in den Liftschacht	4	Sicher, kann nicht in den Liftschacht	4	Bei ungünstigen Verhältnissen Absturz möglich	2
4 Lautstärke	Gegeben, leise	3	Gegeben, leise	3	Keine Schallquellen	4
5 Wartbarkeit	Zeitlich nicht kritisch, da Lift weiterfährt	3	Zeitlich nicht kritisch, da Lift weiterfährt	3	Zeitlich kritisch, Lift steht	1
6 Wartung	Keine, Austausch bei Beschädigung	3	Keine, Austausch bei Beschädigung	3	Keine, Aufwendiger Austausch	2
7 Kostenfaktor	höher	2	höher	2	gering	3
8 Änderung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
9 Regalverbindung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
10 Absturzsicherung	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
11 Überbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
12 Unterbau	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-
13 Gurtumsetzer	erfüllt	-	erfüllt	-	erfüllt	-

Tabelle 3.11: Bewertung der Regalverbindung

3.3.9. Zusammenfassung der Variantenbewertung

VarianteKomponente		1 Spielzahl >200	1.1 Spielzahl > 500	2 Transport	3 Befahren	4. Lautstärke	5. Wartbarkeit	6. Wartung	7. Kostenfaktor	Summe	
Variante 1	Kabinenanbindung	oben und unten	-	-	3	3	3	3	3	4	19
	Zugmittel	Zahnriemen	3	3	3	3	2	4	4	2	24
	Liftschacht	Aluminiumprofile	3	2	3	3	3	1	3	4	22
	Kabinenführung	Rollen	3	2	3	3	3	4	3	3	24
	Motorlage	unten	2	2	2	-	3	4	3	2	18
	Motor und Getriebe	Synchronmotor	3	3	4	4	4	3	2	2	25
	Gegengewicht	mit	4	4	4	-	-	3	3	3	21
	Verbindungstechnik	aktiv	3	2	4	4	3	3	3	2	24
	Gesamtsumme										177
Variante 2	Kabinenanbindung	vorne	-	-	3	1	2	2	1	2	11
	Zugmittel	Seil	2	1	3	2	3	2	2	3	18
	Liftschacht	Stahlprofile	2	1	2	3	1	0	4	2	15
	Kabinenführung	Rollen	4	3	3	3	3	3	2	1	22
	Motorlage	oben	3	3	2	-	4	2	3	2	19
	Motor und Getriebe	Synchronmotor	3	3	4	4	4	3	2	2	25
	Gegengewicht	mit	3	4	3	-	-	3	3	3	19
	Verbindungstechnik	aktiv	3	2	4	4	3	3	3	2	24
	Gesamtsumme										153
Variante 3	Kabinenanbindung	hinten	-	-	3	1	2	0	1	0	7
	Zugmittel	Flachriemen	3	3	3	2	3	4	4	1	23
	Liftschacht	Aluminiumprofile	1	1	3	3	3	1	3	0	15
	Kabinenführung	Gleitschienen	3	2	2	3	2	3	4	3	22
	Motorlage	unten	2	2	2	-	3	4	3	2	18
	Motor und Getriebe	Asynchronmotor	2	2	3	2	3	3	2	3	20
	Gegengewicht	ohne	3	3	4	-	-	4	4	4	22
	Verbindungstechnik	passiv	4	4	2	2	4	1	2	3	22
	Gesamtsumme										149

Tabelle 3.12: Variantenbewertung

3.3.10. Ergebnis der Bewertung

Betrachtet man die Gesamtsummen jeder der drei Varianten nach Tabelle 3.12 weist die Variante 1 als die geeignetste aus.

Unterzieht man die Punktebewertung einem detaillierteren Schwachstellenvergleich nach Abbildung 3.25 weist diese weitere Richtungen zur späteren Erprobung und Kostenreduktion auf. So sollte die Kabinenanbindung und das Zugmittel nicht mehr gewechselt werden. Die separate Untersuchung bei den Gleitschienen und der passiven Absturzsicherung könnte ins Auge gefasst werden.

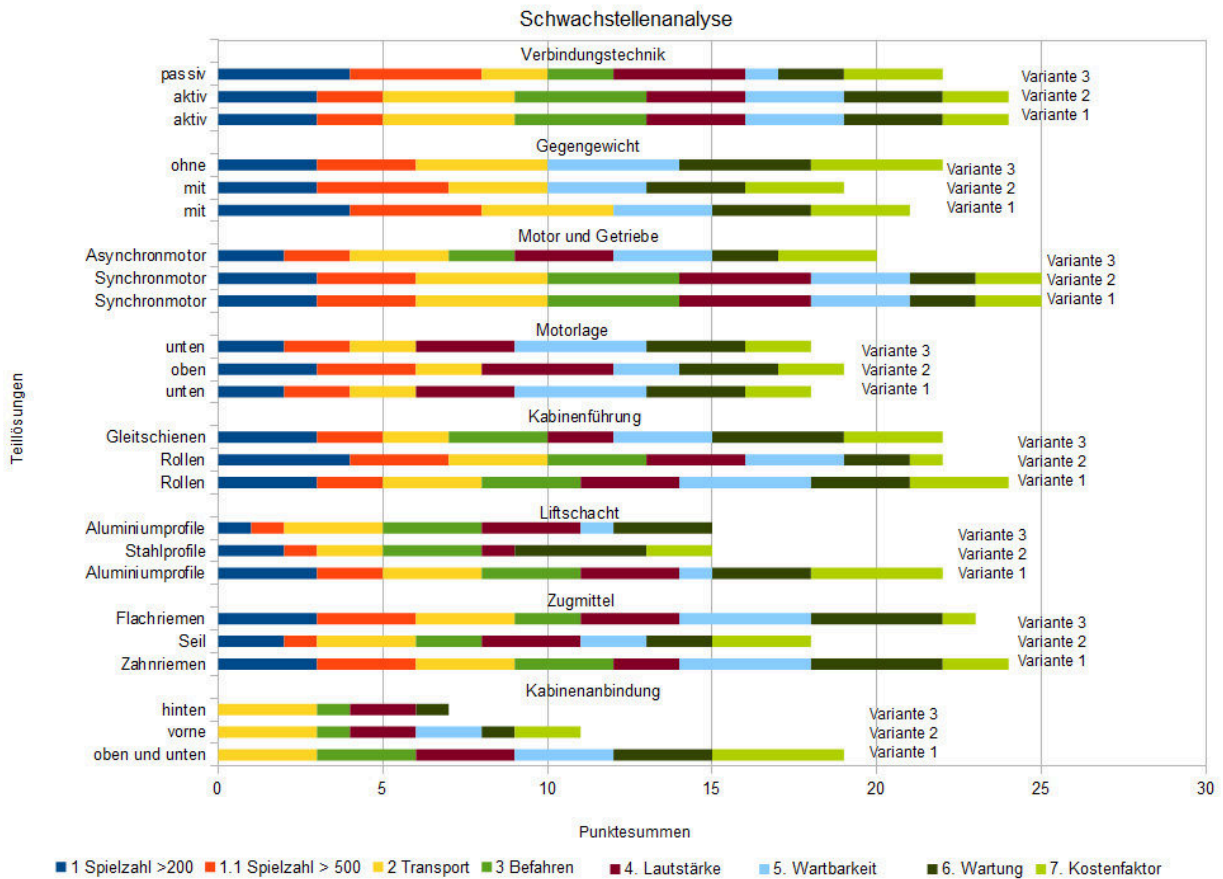


Abbildung 3.25: Schwachstellenvergleich aus der Punktebewertung

Die prinzipiellen Lösungen der Variante 1 wurden nun mit passabel erscheinenden Produkten gefüllt und in einem Erstentwurf nach Abbildung 3.26 zusammengestellt.

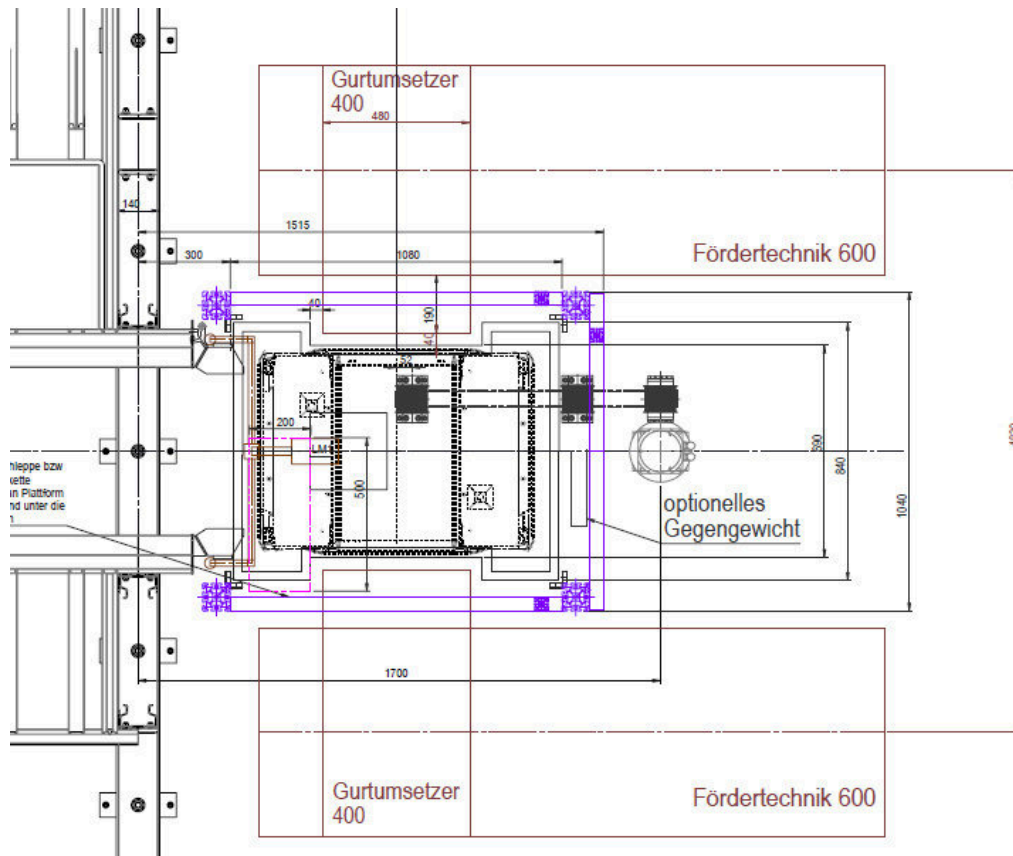


Abbildung 3.26: Erstentwurf des Liftes und Schnittstellenzeichnung

3.4. Festlegen der Schnittstellen

Aus den Kundenaufträgen folgte der Lieferumfang jedes Herstellers und daraus ließen sich die Schnittstellen ableiten. Die Fördertechnik wurde vom Generalunternehmer geliefert, das Regalsystem kam aus Deutschland. Sicherheitstechnik und andere Komponenten von anderen Herstellern. Nachdem das Gesamtlayout aus allen Entwürfen der Einzelunternehmen zusammengefügt und dem Kunden zur Freigabe vorgelegt wurde, begann die Schnittstellendefinitionsphase zwischen den einzelnen Gewerkeherstellern. Diese ist ein sehr zeitintensiver Prozess, da viele Unternehmen daran beteiligt sind, viele Schnittstellen zu beachten sind, und manchmal ganze Systeme neu entwickelt werden müssen, dass einen erheblichen personellen und finanziellen Aufwand bedeutet.

3.5. Festlegen der Zeitkritischen Module

Nach einer Befragung der Mitarbeiter der Abteilung Einkauf ergaben sich Lieferzeiten nach Tabelle 3.13.

Produkt	Lieferzeit
Einkaufsdauer (Bedarfsanforderung bis Bestellung)	1-2 Wochen
Motor und Getriebe	10 – 12 Wochen
Profile und Zubehör	Bis 6 Wochen
Riemen und Riemenscheiben	4 – 6 Wochen
Dreh- und Frästeile	3 – 5 Wochen
Bleichschweißteile	2 – 4 Wochen
Normteile, Lager, Gummipuffer, o.ä.	1 Woche

Tabelle 3.13: Bestelldauer von Einzelteilen

Aus dieser Aufstellung folgt, dass die zeitkritischen Module der Motor und das Getriebe sowie die Profile und deren Zubehör sind.

Motor und Antrieb

Bei diesem Prototyp wurde ein gebrauchter Motor aus einem alten Prototyp wiederverwendet. Die Auslegung der in Schweden eingesetzten Motore und Getriebe begann schon zu diesem Zeitpunkt. Das Getriebe konnte allerdings die starken Riemenkräfte nicht aufnehmen. Die Welle muss an beiden Seiten mit Lager abgestützt werden. Die Wellenberechnung wurde nach DIN743 mithilfe des Internetprogramms „*eassistant*“ (<http://www.eassistant.eu/>) durchgeführt. Die Eingabegeometrie zeigt Abbildung 3.30.

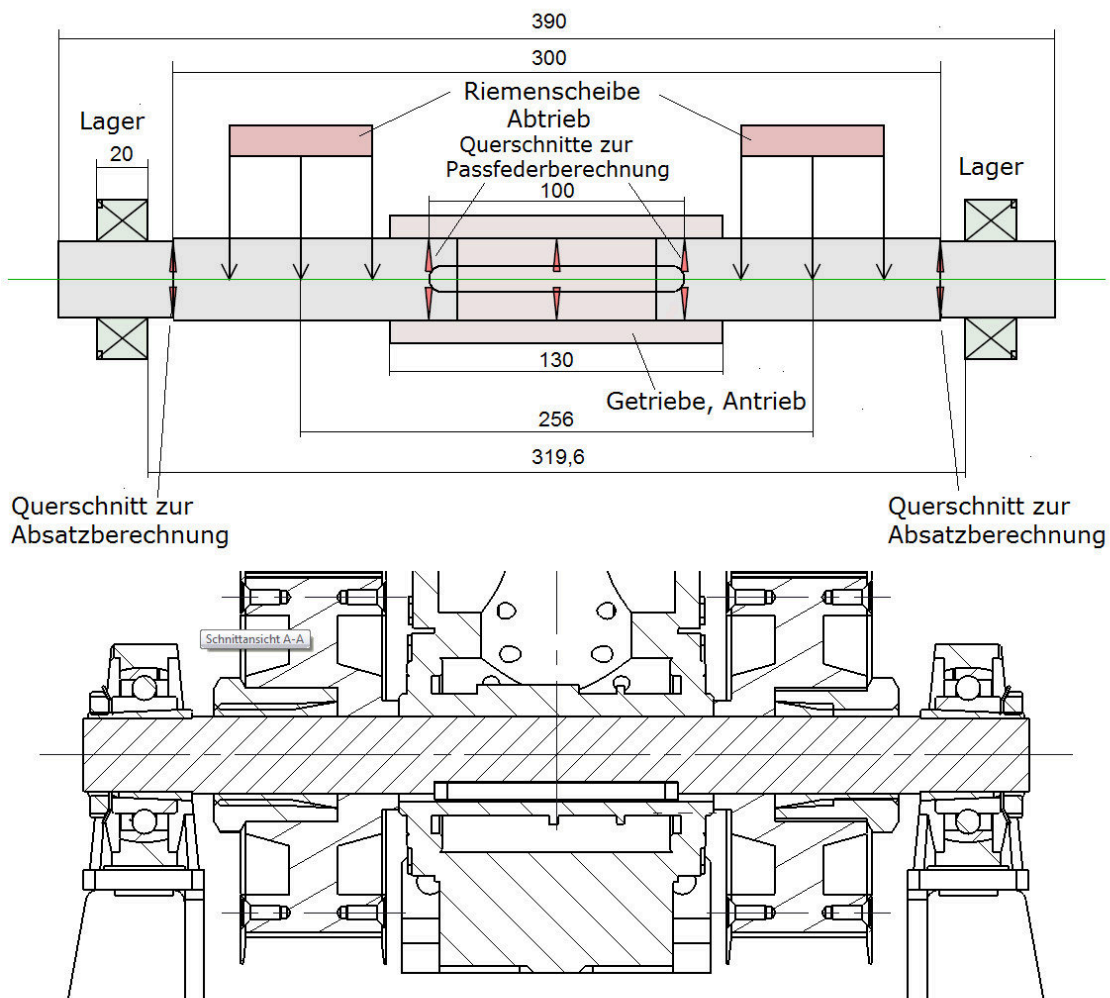


Abbildung 3.27: Angabe des Wellenberechnungsprogramms im Vergleich zur Schnittzeichnung

Die Eingabeparameter wurden aus der Riemenberechnung im Anhang entnommen. Tabelle 3.14 listet diese quantitativ auf.

Wert	Größe	Wert	Größe	Wert	Größe
Kraft Riemenscheibe links	2434 N	Kraft Riemenscheibe rechts	2434 N	Eintriebsmoment	188 Nm
Abtriebsmoment Riemenscheibe links	94Nm	Abtriebsmoment Riemenscheibe rechts	94Nm	-	-
Werkstoff					
42CrMo4 vergütet, Streckgrenze $R_{p0,2} = 900$ Mpa, Zugfestigkeit $R_z = 1100$					
Oberflächenrauigkeit: $R_a = 3,2 \mu\text{m}$					

Tabelle 3.14: Grundlagen der Wellenberechnung

Die Auswertung zeigt die Sicherheit gegen Dauerbruch an den Querschnitten mit der Paßfeder größer als dem fünffachen (Abbildung 3.32 grün) und an den Wellenabsätzen sogar das Zwanzigfache der Belastung (Abbildung 3.32 blau) ist.

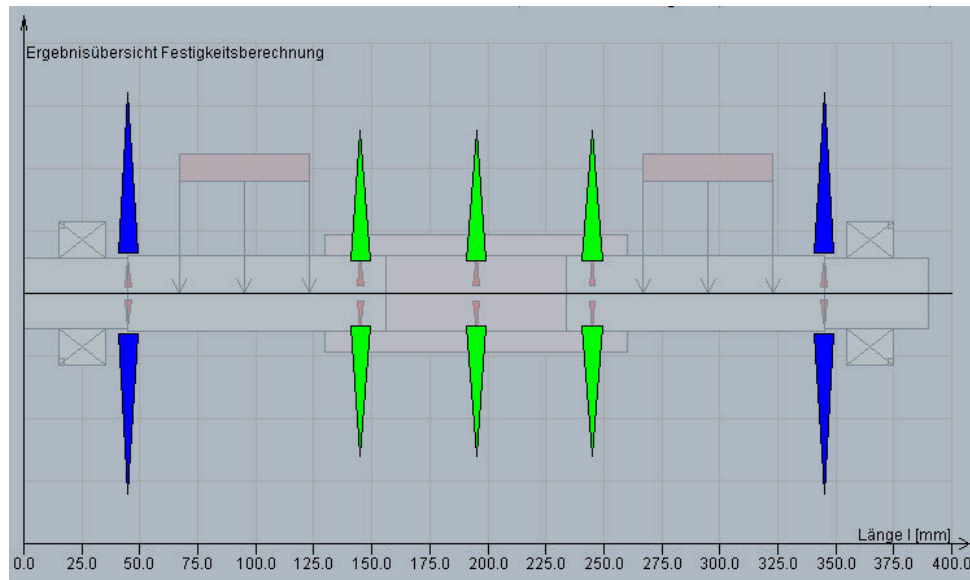


Abbildung 3.28: Ergebnis der Wellenberechnung des Prototyps

Liftschacht

Aufbauend auf die Schnittstellendefinition wurde die Stehergeometrie mithilfe des Pakets Mechanica aus dem Programm ProEngineer Creo definiert. Grundlage bildete eine aus Linien aufgebaute Skizze. Den Linien wurden die Eigenschaften einzelner Querschnitte sowie den dazu passenden Materialeigenschaften zugewiesen. Auf geplanten Punkten der Rollenabstützung wurden Kräfte aufgebracht. Zum Vergleich mit den Stehern der Variante 2 zeigt Abbildung 3.29 links das Verhalten des Liftschachtes bei einer schrägen Belastung und mit Stahlrohrprofilen 120x90x10, rechts sieht man das Verhalten bei Aluminiumprofilen des Unternehmens Bosch Rexroth mit einer Dimension von 180x90mm. Die Balken sind dabei am Boden fixiert und unterliegen einer unsymmetrischen Belastung mit einem Kraftunterschied von 500N.

Ausgehend von dieser Analyse forderte die Geschäftsführung noch einen Kostenvergleich zwischen den Aluminiumprofilen und der Formrohrkonstruktion. Auch hier zeigte sich die günstigere Alternative der Aluminiumprofile.

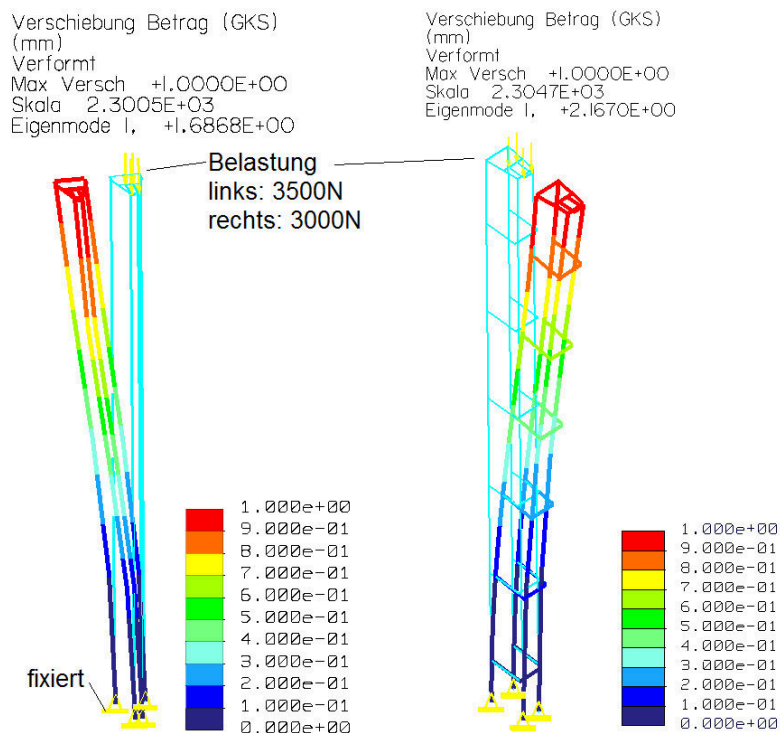


Abbildung 3.29: FEM Analyse verschiedener Stehergeometrien

Ergebnis

Mit den Ergebnissen aus den Analysen und der teilweisen Detaillierung der Lifte konnten diese in die Bedarfsanforderungen nach Abbildung 3.30 eingefügt und an die Einkaufsabteilung weitergeleitet werden.



Pos:	Menge:	ME:	Artikelbezeichnung:	Hersteller:	Artikelnr. Hersteller:	Zeichnungsnr.:	Änderungsindex:	Wunsch Liefertermin:	Kostenstelle * Projektnr.:	QC? [1]	Weiter versand nach Eingang? [2]
1	7 Stk.		Reaktionsanker RG M12 x 160	Schmitz	10785645			23.05.2013	22/2		ja
2	25 Stk.		Scheibe DIN 7349-13vz	Kellner&Kunz	241230012			23.05.2013	22/2		ja
3	11 Stk.		Abdruckschraube M12x60			22-00104	M0000	23.05.2013	22/2	ja	ja
4	11 Stk.		Unterlegplatte 30 s=3mm			22-00180	M0002	23.05.2013	22/2	ja	ja
5	32 Stk.		TIN 0171 T- Mutter Stoßverbinder	RoboUnits	TIN 0171			23.05.2013	22/2		ja
6	4 Stk.		Steherfuß Profil 100 x 200			22-00180	M0000	23.05.2013	22/2	ja	ja

Abbildung 3.30: Beispiel BANF

3.6. Fertigstellung des Zweitentwurfs

Die enge Terminalschiene erlaube leider keine genaueren Untersuchungen und Variantenbewertungen. Hier wurde vorrangig nach den Prinzipien „Try and Error“ sowie dem Kollektorverfahren vorgegangen.

Kabine und Kabinenführung

Durch die festgelegte Schnittstellenkonfiguration und Stehergeometrie konnte nun parallel zu der Liftschachtentwicklung mit der der Kabine begonnen werden. In einem ersten Entwurf wurden diese aus einem Formrohrrahmen nach Abbildung 3.31 aufgebaut. Dadurch wurden die Positionen der vier Steher festgelegt.



Abbildung 3.31: Erstentwurf der Kabine

Während der Konstruktionsphase zeigte sich, dass die Aufgaben der Kabinenführung und die der vertikalen Verbindung der Ober- und Unterteile der Kabine in die Führungsschienen zu integrieren platztechnisch sinnvoll ist und gewichtersparend wirkt. Der Erstentwurf der Führungen, aus der Schweißbaugruppe heraus, waren L-Profile. Diese wurden gemeinsam mit äquivalenten Blechbiegeteilen bei einem Hersteller angefragt. Es zeigte sich, dass die Blechbiegeteile wesentlich billiger und genauer fertigbar waren.

In dem alten Liftsystem wurden zur Zustellung der Rollen Exzenter eingesetzt. Diese hatten jedoch den Nachteil, dass bei zu großem Anzugmoment die Rollen sehr schnell sehr stark verschlissen wurden. Diese Einstellfehler konnte immer wieder bei Monteuren und Kunden beobachtet werden. Deshalb wurden hier Stellschrauben nach Abbildung 3.32 eingesetzt.

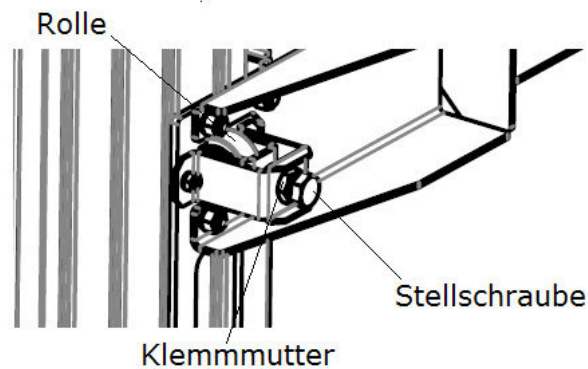


Abbildung 3.32: Rolle mit Einstellschraube

Nachdem mit der Motorgeometrie der Abstand der Doppelriemen festgelegt war, wurde die die Kabinengeometrie durch eine Blech-Formrohr-Verbundkonstruktion vereinfacht, die Längsträger der Kabine, aus Formrohren wurden mit Blechbiegeteilen verzapft. Zum einfacheren Spannen des Riemens wurde dieser umgelenkt und mit Schrauben gespannt. Abbildung 3.33 zeigt die Kabine mit allen Aufbauten.

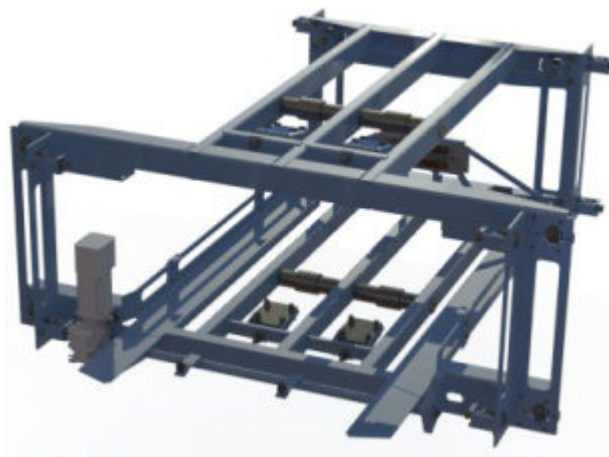


Abbildung 3.33: Kabine des Prototyps

Zugmittel

Die nach Kapitel 3.3.2 Variante 1 durchgeführte Riemenberechnung wurde auch für alle möglichen Lasten auf der Kabine ausgeführt. Dabei zeigte sich das die nach den gesetzlichen Vorgaben für Personenlifte geforderte fünffache Sicherheit bei Zuladung auch bei diesem Lift erreicht würde.

Bei einem 23m hohen Lift ist jeder geringste Lauf aus der Spur des Riemens fatal. Aus diesem Grund wurde zusätzlich zu den aufgespressten Bordscheiben eine Einstellmöglichkeit nach Abbildung 3.34 geschaffen.

Die Riemenscheiben sind mit Lager an der Achse verbunden. Diese wurden nach Herstellerangaben vorausgelegt und danach mit der genaueren Vorschrift nachberechnet.

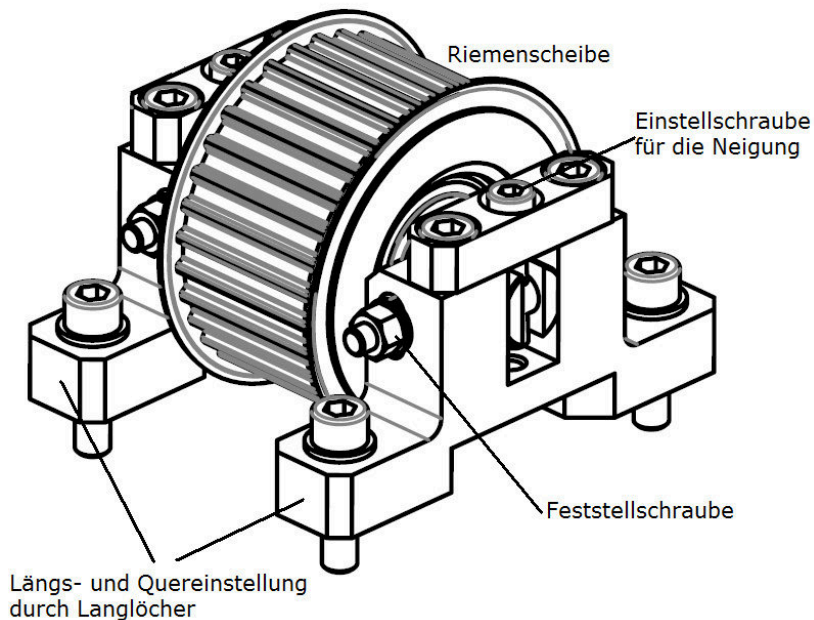


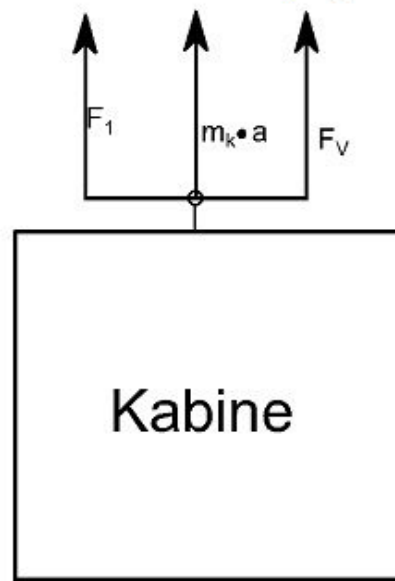
Abbildung 3.34: Einstellmöglichkeiten der Riemenscheibe

Gegengewicht

Nach der Konstruktion der für den Riemenlauf wesentlichen Teile konnte mit der Entwicklung des Gegengewichts begonnen werden.

Schneidet man das System Kabine Gegengewicht und Motor jeweils einzeln frei, so wirken an der Kabine die Zugkraft des Motors, die Vorspannkräfte, die sich bei einem eingelaufenen System aufheben und die Gravitationsbeschleunigung. An einer nach oben beschleunigten Kabine wirken die Kräfte nach Abbildung 3.35.

Kräfte im Riemen zum Gegengewicht hin



Kräfte im Riemen zum Motor hin

Abbildung 3.35: Kabine (schematisch) mit Kräften

Man erhält folgende Gleichung:

$$m_K \cdot a_K = F_V - F_V + F_1 - m_K \cdot g \quad (3.22)$$

Daraus folgt bei gegebener Beschleunigung die erforderliche Kraft:

$$F_1 = 0 + m_K \cdot (a_K + g) \quad (3.23)$$

Fügt man nun in das System ein Gegengewicht ein, so wirkt die oben genannte Kraft nur zwischen dem Gegengewicht und der Kabine. Am Gegengewicht greifen Kräfte nach Abbildung 3.36 und Gleichung 3.24 an.

$$m_{GGw} \cdot a_K = F_V - F_V - F_1 + m_{GGw} \cdot g + F_2 \quad (3.24)$$

Daraus errechnet sich wieder nach Gleichung 3.25 die erforderliche Kraft an dem Motorantrieb.

$$F_2 = 0 + m_K \cdot (a_K + g) - m_{GGw} \cdot (g - a_K) \quad (3.25)$$

Kräfte im Riemen zur Kabine hin

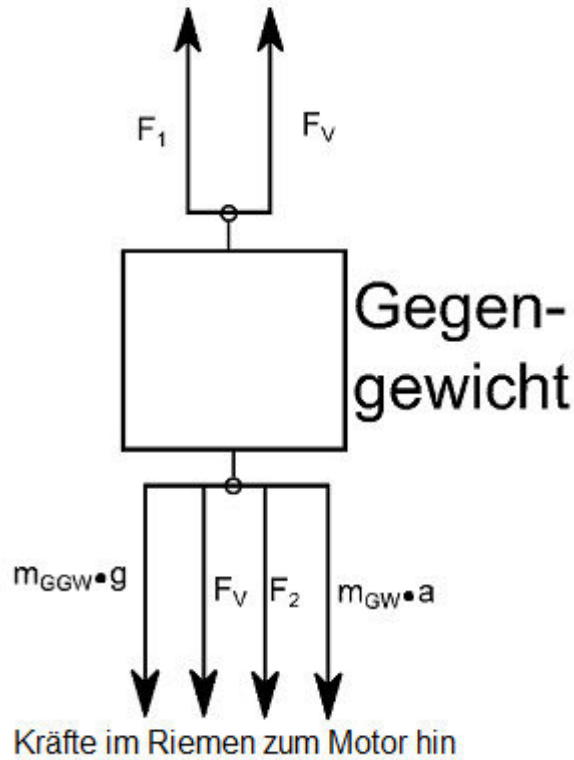


Abbildung 3.36: Gegengewicht (schematisch) mit Kräften

Daraus folgt, dass, übersetzt durch die Antriebsscheiben, die Motorkraft geringer ist, je größer das Gegengewicht und je kleiner die Beschleunigung. In der Abbildung 3.37 gezeigt am Beispiel mit der theoretischen Kabine.

Leistung eines Antriebes

Kabinenmasse 200kg, Beschleunigung 5m/s^2 , Geschwindigkeit 5m/s

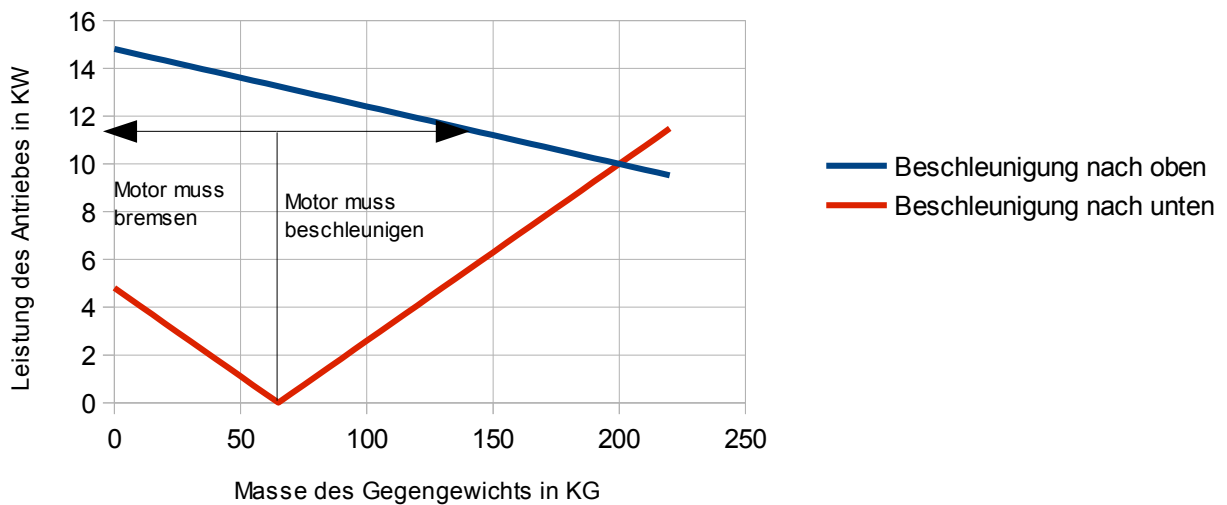


Abbildung 3.37: Leistung eines Antriebes in Abhängigkeit der Masse des Gegengewichts

Dieser Effekt der Leistungsminderung reichte bei einem Gegengewicht von 102kg aus, die nächstkleinere Umrichterstufe zu wählen.

Eine weitere Möglichkeit das Gegengewicht auszulegen, ist es, das dynamische Moment und damit die Beschleunigung an der Last zu erhöhen. Nach [OSE07] ist:

„das an der Last wirkende Moment $J_L \cdot \dot{\omega}_L$ infolge eines konstanten Motormoments abhängig von der Getriebeübersetzung i und dem Verhältnis von Motor zur Lastträgheitsmoment J_M/J_L .“

$$J_L \cdot \dot{\omega}_L = \frac{M_M}{i \frac{J_M}{J_L} + 1} \quad (3.26)$$

Mithilfe des Gegengewichts kann man hier sehr gut auch das Lastträgheitsmoment beeinflussen, da sich dieses nach Gleichung 3.27 subtrahiert für die Beschleunigung nach oben oder addiert für die Verzögerung. Vice versa für die Beschleunigung und Verzögerung nach unten ausgehend von der Kabine.

$$\text{Beschleunigung nach oben } J_{ers} = J_{red} + (m_K - m_{GGW}) \cdot \frac{d_0^2}{4} \frac{1}{i_{ges}^2 \cdot \eta_{ges}} \quad (3.27)$$

$$\text{Beschleunigung nach unten } J_{ers} = J_{red} - (m_K - m_{GGW}) \cdot \frac{d_0^2}{4} \frac{\eta_{ges}}{i_{ges}^2}$$

Die Optimierungskurve nach Gleichung 3.26 mit den Variablen nach Tabelle 3.15 gibt einen Verlauf nach Abbildung 3.38

Komponente	m	d _{Rolle}	i	J _{red}
Kabine	200 kg	0,15279 m	4,86	1,16724 kg/m ²
Gegengewicht	102 kg	0,15279 m	4,86	0,59529 kg/m ²
Umlenkrollen	-	0,10186 m	2,25	0,00338 kg/m ²
Gegenrolle	-	0,12000 m	1,62	0,00161 kg/m ²
Antrieb	-	0,15279 m	-	0,01768 kg/m ²
Getriebe	-	-	4,86	0,03963 kg/m ²
Motor	-	-	-	0,00900 kg/m ²
Motormoment	-	-	-	50,000 Nm

Tabelle 3.15: Berechnungsgrundlagen nach Gleichung 3.26 für Abbildung 3.38

Daraus wird ersichtlich das mit steigendem Gegengewicht die mögliche Beschleunigung steigt. Da die erforderliche Beschleunigung jedoch nur $8,06 \text{ rad/s}^2$ beträgt, so hat die Auswahl des Gegengewichts für die Beschleunigung keinen Einfluss.

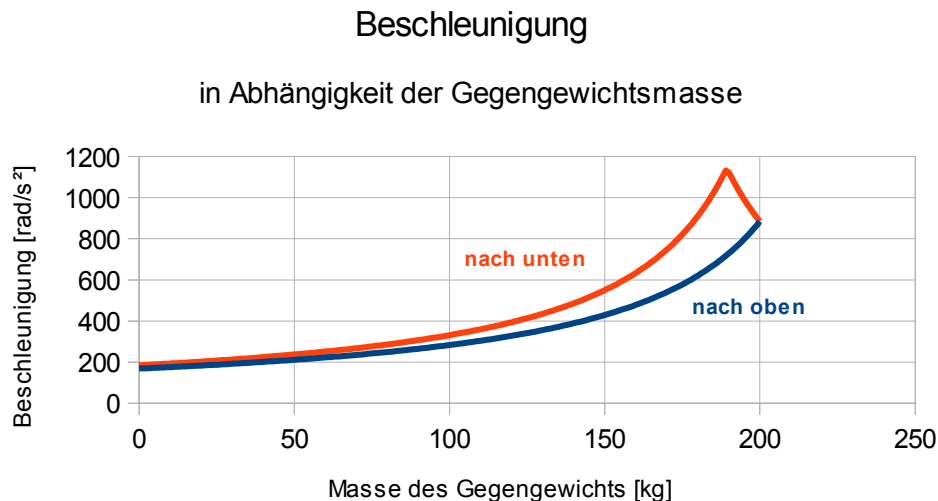


Abbildung 3.38: Beschleunigung in Abhängigkeit der Gegengewichtsmasse

Zur Führung des Gegengewichts wurden vom Profilversteller gelieferte Rollenführungsschienen eingesetzt.

Befestigung des Prototypen

Durch die Aufstellungssituation in der Halle war eine Befestigung zur Wand nicht möglich. Auch fehlte für eine Verbindung von zwei Liften der zweite Lift. Der Prototyp wurde ans Regal angebunden. Diese Verbindung stellte sich als sehr stabil heraus.

In der Halle wird der Lift zu einem großen Teil an seiner Position verbleiben. Dieser Lift ist jedoch ein Prototyp, daher Änderungen an seiner Aufstellungsart oder -position sind nicht auszuschließen. Aus diesem Grund wurde er nur am Boden befestigt, und nicht wie dem Stand der Technik entsprechend untergossen.

3.7. Analyse des Zweitentwurfs

Nachdem die Konstruktion zum ersten Mal fertiggestellt wurde, wurden alle Berechnungen nach den aktuellen Gewichten aktualisiert. Weiters wurde die Konstruktion mit erfahrenen Monteuren und Kollegen besprochen. Es wurde Verbesserungspotential gefunden und einfachere Montagemöglichkeiten umgesetzt.

3.8. Fertigstellung der Fertigungszeichnungen

Nachdem der Zweitentwurf optimiert und fertiggestellt wurde, mussten nun die Fertigungszeichnungen erstellt werden. Aus den 3D Modellen wurden alle notwendigen Ableitungen auf Papier gebracht, mit Maßen versehen und in standardisierte Dateiformate exportiert. Abbildung 3.39 zeigt den Vergleich eines Modells und der dazugehörigen Zeichnung.

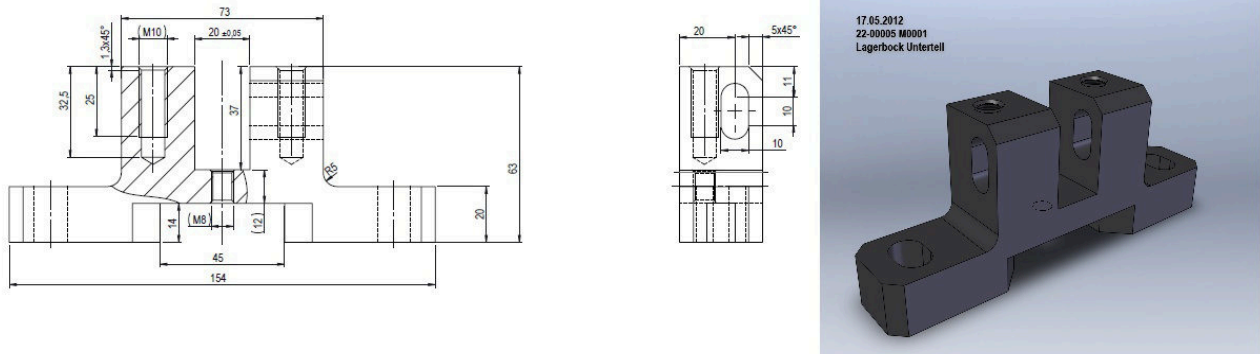


Abbildung 3.39: Beispiel eines Einzelteil mit dazugehöriger Zeichnung

3.9. Fertigstellung der Montagezeichnungen

Während die Bestellungen der Einzelteile an die Lieferanten gesendet wurden und mit deren Fertigung begann, wurden die Montagezeichnungen erstellt. Diese stellen sich aus Stücklisten und dazu passenden Zeichnungen wie nach Abbildung 3.40 zusammen.

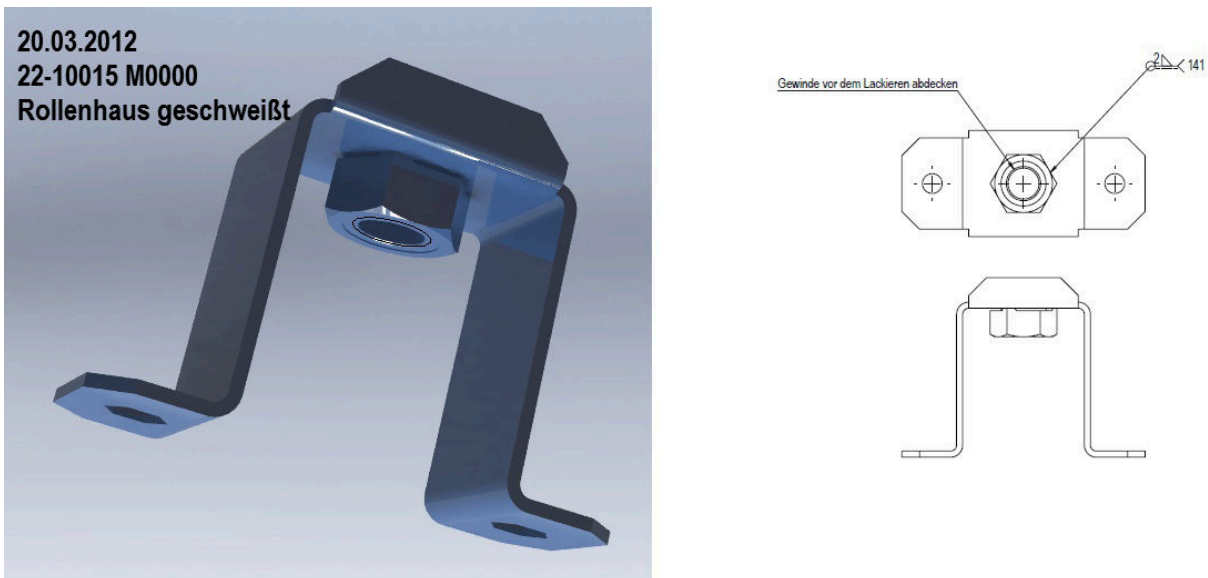


Abbildung 3.40: Beispiel einer Baugruppe und Zeichnung

4. Umsetzung

4.1. Erkenntnisse aus dem Prototyp

Kabine

Die Seitenführung der Kabine war zu weich, und die Absturzsicherungen mussten von der Seite nach vorne und hinten verlegt werden.

Die Anbindung und das Spannsystem der Riemen war jedoch sehr gut. Nur die Ausführung der Schweißnähte mussten vom Lieferanten verbessert werden.

Kabinenführung

Bei der Montage des Prototyps zeigte sich, dass die Stellschrauben der Räder wesentlich zu kurz waren. Dies war aufgrund der durch die Riemenspannung stabilisierten Kabine kein Problem. Sie blieb auch ohne die Steher zu berühren in der Horizontalen. Nur beim Auf- und Abfahren eines AiVs begann die Kabine zu kippen und die Räder schlugen auf den Stehern an. Durch das schnelle Drehen der kleinen Laufräder bestand die Gefahr dass sich diese zu sehr abnützten. Es wurden die Durchmesser von 50mm auf 80mm erhöht.

Liftschacht

Beim Aufbau zeigte sich das die geplanten Stirnseitenverbinder zu geringe Stabilität aufwiesen. Diese wurden durch geeignete lange T-Nuten-Steine ersetzt.

Die verwendete zweiteilige Bodenplatte erwies sich schon beim Prototyp als vorteilhaft. Allein die Befestigung mit Abdrückschrauben und Klebeanker war zu weich, weshalb man sich zusätzlich für das Untergießen mit schwindfreiem Beton entschied.

Zugmittel

Nach dem Einbau des Gegengewichts wurde vor dem Nachspannen des Riemens der Lift getestet. Bei der Fahrt nach unten konnte man schnalzende Geräusche hören. Der Ursprung der Geräusche wurde auf dem unteren vorderen Rollenpaar lokalisiert. Nach dem Nachspannen der Riemen waren die Geräusche weg. Diese Geräusche wurden als Springen nach Abbildung 3.21 identifiziert. Es wurde beschlossen bei den Liften in Schweden einen Riemenspanner nach Abbildung 3.22 einzubauen.

Die aufgedruckten Bordscheiben erwiesen sich selbst für den kleinen Prototypenlift als zu schwach und klein, deshalb wurden in Schweden, analog zu den Bordscheiben des Motors, diese aufgeschraubt und die Schrauben geklebt.

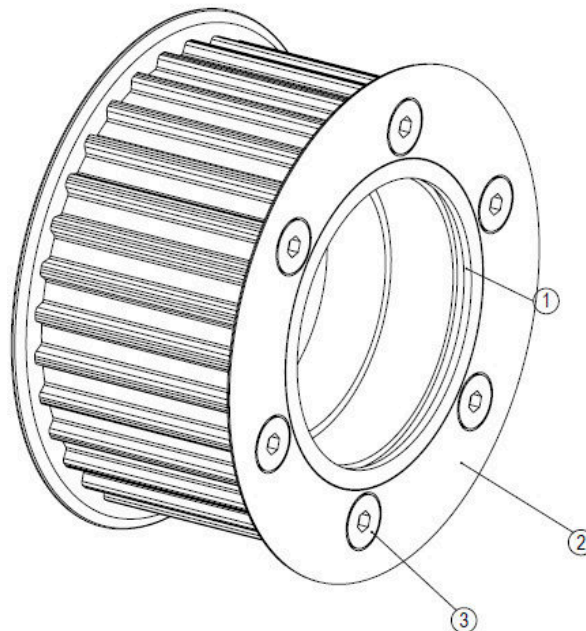


Abbildung 4.1: Riemenscheibe mit geschraubten Bordscheiben, 1 Riemenscheibe, 2 Bordscheibe, 3 Befestigungsschrauben

Motor und Getriebe

Der beim Prototyp eingesetzte Motor und das Getriebe wurden aus Kostengründen gewählt. Der mit dem Lieferanten ausgewählte Motor wurde erst in Schweden eingesetzt. Auch zeigte sich das die Bauform des Getriebes in dieser Ausführung wesentlich zu klein war.

Bei der Inbetriebnahme des Prototyps zeigte sich die Befestigung des Getriebes mit der Motorstütze als zu weich. In Schweden wurden deshalb Glockenelemente eingesetzt.
Abbildung

Gegengewicht

Die wesentlich günstigere Alternative der Kunststoffgleitschienen im Profil war genauso ausreichend und führte zu einer deutlichen Kostenreduktion.

4.2. Änderungskonstruktionen bei der Kundenumsetzung in Schweden

- Aufgrund der höheren Bauweise musste die Verbindung der Steher untereinander besser aufgebaut werden. Man entschied sich nicht nur die Steher am Regal zu befestigen, sondern auch die Lifte untereinander zu verbinden. Bei der obersten Verbindung konnte dadurch ein Serviceplatz eingebaut werden.
- Die Kabinen wiesen durch die Erfahrungen vom Prototyp wesentliche Unterschiede auf. Da sich die Führungsschienen veränderten und mit ihnen die Kabinenverbindung mussten auch die Ober- und Unterteile geändert werden.
- Durch die stärkeren Motoren und damit auch größeren Getriebe musste der Riemenabstand insgesamt vergrößert werden.
- Die Erfahrungen aus dem Prototyp verbunden mit der Höhe des Liftes in Schweden brachten die Erkenntnis einen Riemenspanner einzubauen. Da die Auslegung sich sehr schwierig gestaltete, wurden mehrere verschiedene Gasdruckfedern nach Schweden geschickt und getestet. Die Passende hatte eine Kraft von 1200N.
- Um dem Lift noch zusätzliche Stabilität zu verleihen, wurden zwischen den horizontalen Steherverbindungen Spannsysteme nach Abbildung 4.2 verwendet, die aus Spannschlössern mit Blechverbindungen bestanden. Beim Aufbau stellte sich heraus, dass die Profile ungenau geschnitten wurden. Dadurch mussten die Liftschächte nach dem Aufbau mit diesen Spannsystemen auf das Regal ausgerichtet werden, hier erwiesen sie sich von Vorteil.

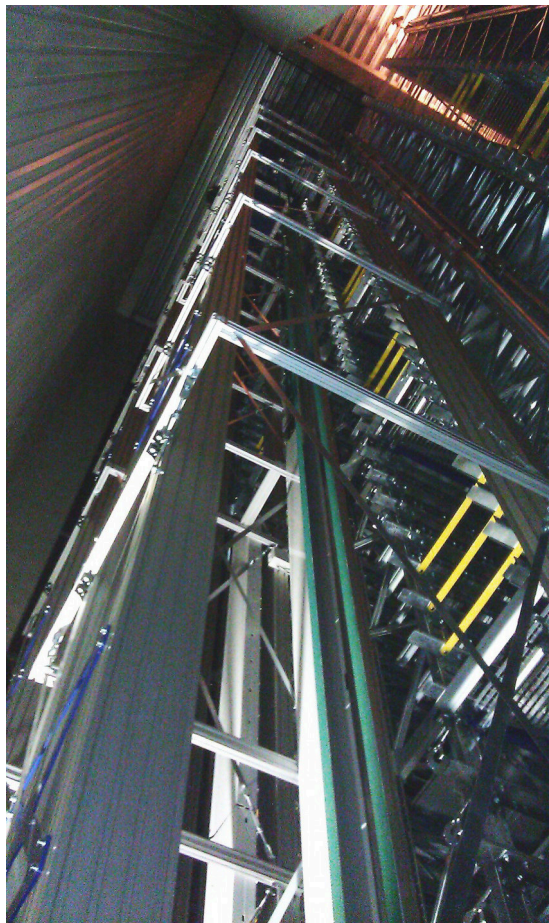


Abbildung 4.2: Spannsystem am Liftschacht

- Da die Befürchtung im Raum stand die Glockenelemente seien zu weich, wurde die Hebellänge am Getriebe erhöht.

Änderungen der Kabinenführung

Aus der Erfahrung des Prototypen heraus und dass bei 23m kleine Winkelversätze große Abstandsänderungen innerhalb des Liftschachtes bedeuten können, wurden zur Sicherstellung einer Verbindung der Kabine zum Lift Gasdruckfedermechanismen eingebaut. Diese sollten sicherstellen, dass sich die Kabine in dem Liftschacht sicher bewegen konnte.

4.3. Erkenntnisse aus Schweden

Der Aufbau der Regale in Schweden überschritt die geforderte Dauer um 9 Monate. Es war genug Zeit den Lift ausgiebig zu testen.

Zuerst zeigte sich, dass die Lifte sehr gute Laufeigenschaften aufwiesen. Kleinere Probleme bei der Inbetriebnahme konnten rasch beseitigt werden.

Lift 7

Der 24h Testlauf des Liftes 7 mit Übergewicht lief bis zum Arbeitsende des Monteurs ruhig und ohne Probleme. Am nächsten Tag in der Früh fand dieser die Kabine in der Lage nach Abbildung 4.3 vor. Vermutlich verrutschte das Prüfgewicht, die Kabine stellte sich auf und verkeilte sich im Liftschacht.

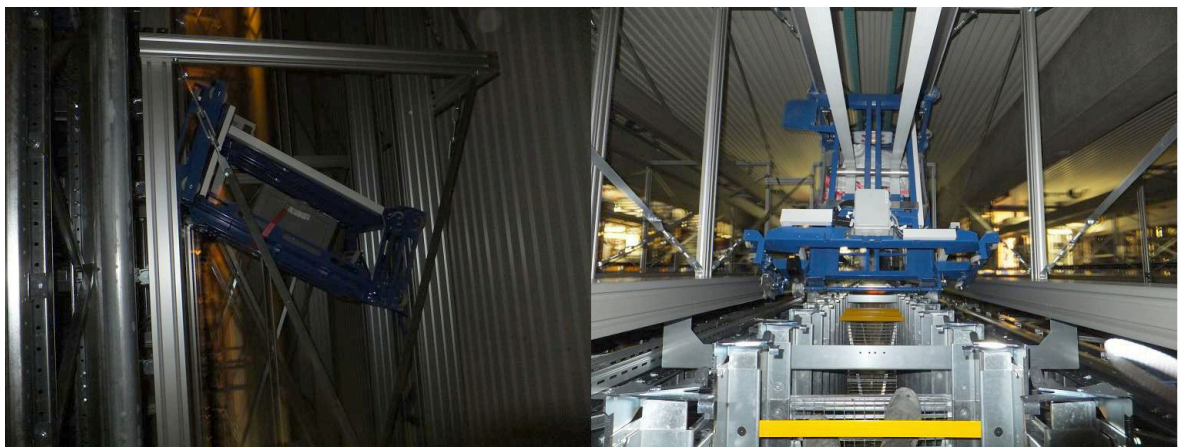


Abbildung 4.3: Unfallbilder Lift 7

Nachdem der Monteur die Kabine wieder abgesenkt, zerlegt, repariert und neu aufgebaut hatte bewegte sich diese als ob kein Unfall stattgefunden hätte. Zur Absicherung des Betriebes wurden nun sogenannte „A-Schienen“ nach Abbildung 4.4 eingebaut. Diese verhinderten nun mechanisch ein Kippen der Kabine.

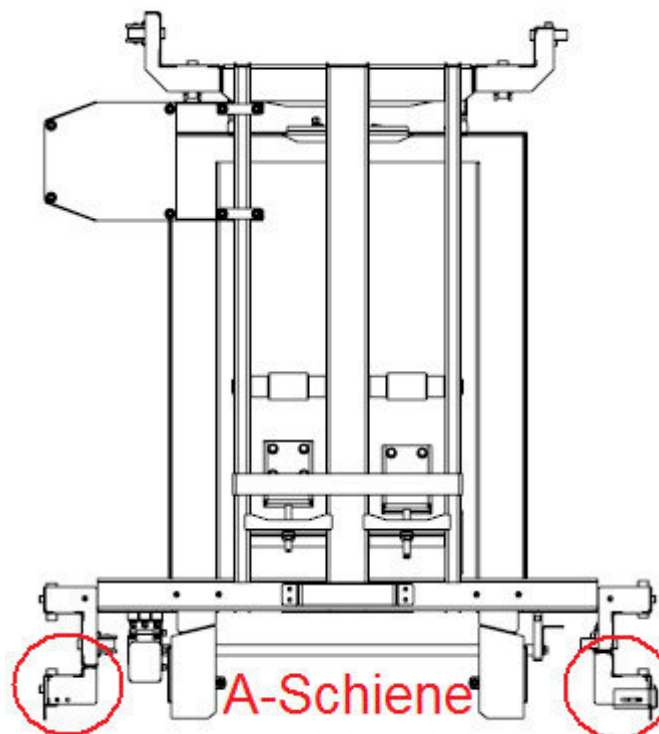


Abbildung 4.4: Kabine Ahlsell mit A-Schienen

Weitere Beobachtungen

Eine Kabine verzog sich aus einem unerklärlichen Grund, der Riemen war anscheinend um einen Zahn weitergesprungen. Die genaue Ursache konnte hier nie herausgefunden werden.

Beim Anschließen zweier Lifte wurde das Resolverkabel vertauscht. Bei der ersten Inbetriebnahme beschleunigten die Motoren dadurch solange nach unten, bis die Kabinen an der Liftunterseite zerschellten.

Die erste Schweißkonstruktion mit den Blechverbindungen untereinander war zu schwach. Die Kabine fing an sich nach einem halben Jahr an der Vorderseite bogenförmig aufzuweiten. Eine Revision der Kabine, ausgelöst durch die Erkenntnisse der zerstörten Kabinen, wurde hier eingesetzt. Diese bestehen nun im Wesentlichen aus blechverkleideten Formrohrprofilen, die nach Abbildung 4.5 miteinander verzapft sind.

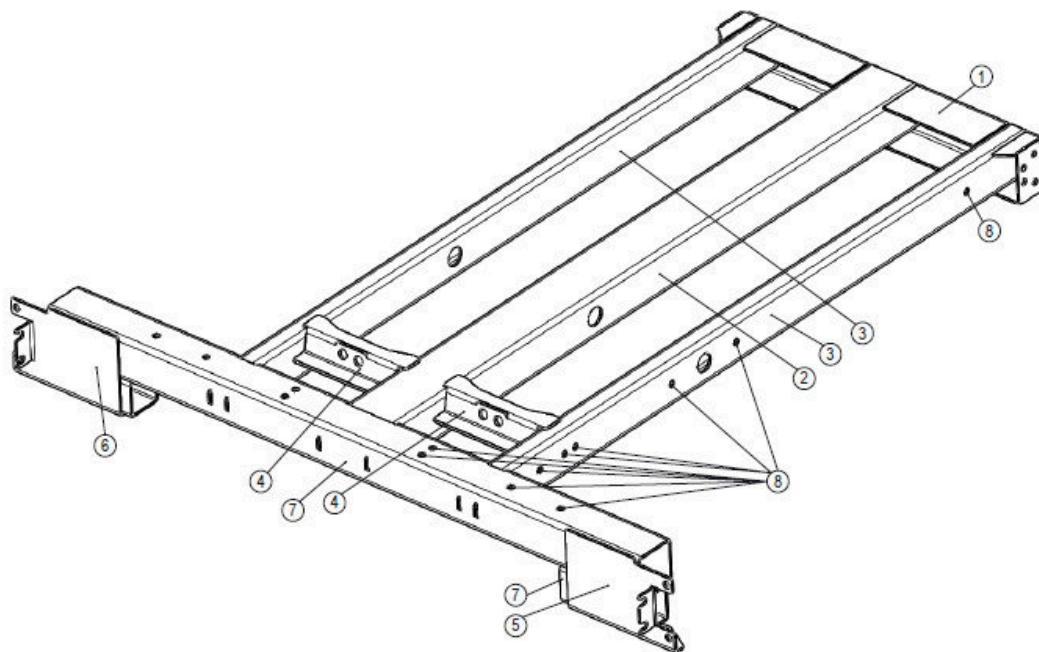


Abbildung 4.5: Verzapftes Kabinenoberteil aus der Schweißzeichnung

5. Abschließende Überlegungen

5.1. Zusammenfassung

In den letzten Jahren hat sich die Shuttletechnik in der Lagerlogistik etabliert. Das Unternehmen YLOG GmbH hat sich diesem System verschrieben. Veränderte Kundenanforderungen führten zur Entscheidung ein neues Liftsystem zu entwickeln.

Liftsysteme der Shuttletechnik sind Aufzügen sehr ähnlich. Sie unterliegen jedoch nicht den hohen sicherheitstechnischen Anforderungen aus den Normen für Personenaufzüge. Grundlegend lässt sich ein Aufzug und ein Lift nach seinem technischen Prinzip beschreiben. Hier eignet sich, angelehnt an das bisherige Liftsystem am besten der Treibscheibenaufzug.

Das bisher eingesetzte Liftsystem, „Double Cross“ benannt nach seiner Möglichkeit zwei AiVs in Querrichtung aufzunehmen, ist neben anderen Nachteilen für das geplante hohe Regalsystem zu langsam.

Der interne Entwicklungs- und Konstruktionsprozess hat als Grundlage die VDI 2221, die einen 7 Stufigen Ablaufplan vorgibt. Mithilfe von geeigneten Bewertungs- und Lösungsmethoden ist diese ein gutes Werkzeug um Neukonstruktionen durchführen zu können. Im wirtschaftlichen Umfeld, in dem sich der Entwickler oder Konstrukteur bewegt muss dieser zeitlich optimiert werden. Diese Eigenschaft ist eine wesentliche Änderung des internen Prozesses zum Prozess nach VDI2221.

Nach einer Analyse der Aufgabenstellung, der aktuellen Situation, der Gurtumsetzer, des bisher eingesetzten Liftsystemen und dem AiV wurde die Anforderungsliste erstellt. Sie bildet die Grundlage für die spätere Bewertung.

Für alle wesentlichen Teilfunktionen werden Lösungen vorgestellt und in 3 Varianten zusammengefasst. Diese Varianten werden gründlich anhand ihren Teilfunktionen analysiert und bewertet. Die Variante mit der höchsten Punktezahl wurde gewählt und der interne Konstruktionsprozess weiter verfolgt. Nach der Beschreibung der Schnittstellendefinition folgt die der Konstruktion der zeitkritischen Module sowie der Fertigstellung und Analyse des Zweitentwurfs. Diese Aufgaben lassen den Prototypen entstehen.

Der weitere Verlauf bis zu den Erkenntnissen aus Schweden zeigte die Funktionsfähigkeit des Liftsystems. Es gab kleinere Probleme, deren Hauptursachen gefunden bzw. vermutet und somit schnell gelöst wurden.

5.2. Ausblick

Obwohl es einige wenige Probleme gab, hat sich herausgestellt, dass der Konstruktionsprozess prinzipiell funktioniert. Nach Anwendung seiner Methoden zur Lösungssuche und Bewertung wurden Prinzipien gefunden, die die Aufgabenstellung gut erfüllten.

Auf die Anwendung des Prozesses bis in die Detaillierungsstufe wurde vorrangig aufgrund terminlicher Vorgaben verzichtet. Dies war die Hauptursache der Probleme des Prototypen.

Aus diesen Gründen wird empfohlen die Methoden auch in die Detaillierungsstufe von Konstruktionen einfließen zu lassen. Es sollten zusätzlich andere Methoden gesucht und auf ihre Anwendbarkeit hin geprüft werden.

Weiters weisen die Ergebnisse der Schwachstellenanalyse nach Abbildung 3.25 auf prinzipielle Möglichkeiten zur Kostenreduktion und Optimierungen innerhalb des Systems hin. Deren Umsetzung sollte geprüft werden.

6. Anhang

6.1. Literaturverzeichnis

[BRE10]: Breco Antriebstechnik Breher GmbH & Co. KG, *BRECO und BRECOFLEX Zahnriemen*, Westfahlen, Eigenverlag, 2010

[BRE11]: Breco Antriebstechnik Breher GmbH & Co.KG, *BRECO®- und BRECOFLEX®-Flachriemen*, Westfahlen, Eigenverlag, 2011

[CEB04] Celigoj, Christian; Edler, Jörg; Bouvier-Azula, Klaus et al: *Festigkeitslehre*, Graz,2004

[DVT12]: DIN; Verband der TÜV, *Technische Regeln für Aufzüge*, Berlin, Beuth, 2012

[HKS09] Hoffmann, Klaus; Krenn, Erhard; Stanker, Gerhard: *Fördertechnik*, Linz : VERITAS, 2009. - ISBN 978-3-7058-7631-6.

[OSE07] Oser, Jörg, *Vorlesung Antriebstechnik*, 2007

[PBF07] Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Feldhausen, Jörg et al.: *Konstruktionslehre*, Berlin Heidelberg New York : Springer, 2007. - ISBN 3-540-34060-2.

[Per09] Perneder, Raimung: *Handbuch Zahnriementechnik*, Berlin, Heidelberg : Springer, 2009. - ISBN 978-3-540-89321-9.

[SiD84] Simmen, Jeannot; Drepper, Uwe: *Der Fahrstuhl: d. Geschichte d. vertikalen Eroberung*, München : Prestel, 1984. - ISBN 3-7913-0692-8.

[UNG13] Unger, Dieter: *Aufzüge und Fahrtreppen*, Berlin/Heidelberg : Springer, 2013. - ISBN 978-3-642-29058-9.

[VDI2221]: Verein Deutscher Ingenieure, *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren Technischer Systeme*, , Beuth, 1993

[Wei04] Weiskopf, Ulrich:*Lebensdauer und Ablegereife bei Mehrlagenwicklung im Kranbau*, 2004 aus Institut für Fördertechnik und Logistik: *Jahresbericht 2003/04*,

Stuttgart, Technische Universität Stuttgart,

6.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Trommelaufzug (vgl.[SiD84] S.41).....	10
Abbildung 2.2: Pneumatikaufzug (vgl. [SiD84] S.41).....	11
Abbildung 2.3: Hydraulikaufzug (vgl. [SiD84] S.41).....	11
Abbildung 2.4: Treibscheibenaufzug (vgl. [SiD84] S.41).....	12
Abbildung 2.5: Kletteraufzug (vgl. [SiD84] S.41).....	12
Abbildung 2.6: Paternosteraufzug (vgl. [SiD84] S.41).....	13
Abbildung 2.7: Bisheriges Liftsystem.....	14
Abbildung 2.8: Der Problemlösungsprozess in allen Lebensphasen eines Systems (vgl. [VDI2221] S.3).....	15
Abbildung 2.9: Produktkreislauf mit Produktentstehungs- und -lebensphasen (vgl. [VDI2221]).....	16
Abbildung 2.10: Entwicklungs- und Konstruktionsprozess nach [VDI2221].....	17
Abbildung 2.11: Konstruktionsprozess YLOG.....	22
Abbildung 2.12: Zeitlicher Verlauf und Meilensteine bei einer beispielhaften Neuentwicklung.....	23
Abbildung 3.1: Projektierungsplan Schweden.....	27
Abbildung 3.2: Übersicht Schweden mit Zoneneinteilung.....	28
Abbildung 3.3: Der Lift eingebettet in seiner Umgebung.....	29
Abbildung 3.4: AiV mit Gurtumsetzer.....	30
Abbildung 3.5: Probleme bei Behältern mit schräger Seitenwand.....	30
Abbildung 3.6: Liftprinzip alt.....	31
Abbildung 3.7: Auffahrt auf den „Double Cross“ Lift.....	33
Abbildung 3.8: Bestandteile eines Lifts (vgl. [UNG13] S.32).....	33
Abbildung 3.9: AiV in Längs und Querfahrt.....	35
Abbildung 3.10: Richtungen des Lifts.....	36
Abbildung 3.11: Befestigungsflächen des Zugmittels an der Kabine.....	39
Abbildung 3.12: Bewegungsabläufe Passive Absturzsicherung, a) AiV fährt auf unkontrolliert in den Liftschacht, b) AiV beginnt zu kippen, c) AiV bewegt sich nach vorne und unten, d) AiV verhakt sich an der Absturzsicherung.....	43

Abbildung 3.13: Schematik der drei Varianten.....	44
Abbildung 3.14: Dimensionen an der Kabine.....	45
Abbildung 3.15: Kräfte um die Kabine bei der Anbindung oben und unten.....	46
Abbildung 3.16: Kräfte um die Kabine der Variante 2.....	47
Abbildung 3.17: Kräfte um die Kabine der Variante 3.....	48
Abbildung 3.18: Riemenvorauswahl aus [BRE10].....	50
Abbildung 3.19: Ansatz, Rand- und Übergangsbedingungen zur Knickungsberechnung .	54
Abbildung 3.20: Steherlänge im Verhältnis zur Kraft.....	55
Abbildung 3.21: Riemenspringen nach [Per09].....	58
Abbildung 3.22: Riemendehnungsausgleich.....	58
Abbildung 3.23: Brückenarten, links Klappbrücke, Mitte Hebebrücke und rechts Schiebebrücke.....	63
Abbildung 3.24: Bewegungsrichtungen der Absturzsicherung: links nach unten, mitte drehend um die Fahrbahnschiene und rechts schwenkend wie eine Saloontür.....	64
Abbildung 3.25: Schwachstellenvergleich aus der Punktebewertung.....	67
Abbildung 3.26: Erstentwurf des Liftes und Schnittstellenzeichnung.....	68
Abbildung 3.27: Angabe des Wellenberechnungsprogramms im Vergleich zur Schnittzeichnung.....	70
Abbildung 3.28: Ergebnis der Wellenberechnung des Prototyps.....	71
Abbildung 3.29: FEM Analyse verschiedener Stehergeometrien.....	72
Abbildung 3.30: Beispiel BANF.....	72
Abbildung 3.31: Erstentwurf der Kabine.....	73
Abbildung 3.32: Rolle mit Einstellschraube.....	74
Abbildung 3.33: Kabine des Prototyps.....	74
Abbildung 3.34: Einstellmöglichkeiten der Riemenscheibe.....	75
Abbildung 3.35: Kabine (schematisch) mit Kräften.....	76
Abbildung 3.36: Gegengewicht (schematisch) mit Kräften.....	77
Abbildung 3.37: Leistung eines Antriebe in Abhängigkeit der Masse des Gegengewichts.	77
Abbildung 3.38: Beschleunigung in Abhängigkeit der Gegengewichtsmasse.....	79
Abbildung 3.39: Beispiel eines Einzelteil mit dazugehöriger Zeichnung.....	80
Abbildung 3.40: Beispiel einer Baugruppe und Zeichnung.....	80
Abbildung 4.1: Riemenscheibe mit geschraubten Bordscheiben, 1 Riemenscheibe, 2	

Bordscheibe, 3 Befestigungsschrauben.....	82
Abbildung 4.2: Spannsystem am Liftschacht.....	84
Abbildung 4.3: Unfallbilder Lift 7.....	85
Abbildung 4.4: Kabine Ahlsell mit A-Schienen.....	86
Abbildung 4.5: Verzapftes Kabinenoberteil aus der Schweißzeichnung.....	87

6.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Analyse und Eignung der Liftprinzipien nach [SiD84].....	13
Tabelle 2.2: Vergleich der VDI 2225 mit der Bewertungsverfahren im Unternehmen.....	21
Tabelle 3.1: Anforderungen an das System.....	37
Tabelle 3.2: Morphologischer Kasten zur Variantenauswahl der Liftprinzipien.....	44
Tabelle 3.3: Bewertung der Teillösungen Kabinenanbindung.....	49
Tabelle 3.4: Bewertung der Teillösung Zugmittel.....	53
Tabelle 3.5: Bewertung der Teillösung Liftschacht.....	56
Tabelle 3.6: Bewertung der Kabinenführung.....	57
Tabelle 3.7: Bewertung der Motorlage.....	59
Tabelle 3.8: Vergleich Asynchron- mit Synchronservomotor nach [OSE07].....	60
Tabelle 3.9: Bewertung der Motor und Getriebepprinzipien.....	61
Tabelle 3.10: Bewertung des Gegengewichts.....	62
Tabelle 3.11: Bewertung der Regalverbindung.....	65
Tabelle 3.12: Variantenbewertung.....	66
Tabelle 3.13: Bestelldauer von Einzelteilen.....	69
Tabelle 3.14: Grundlagen der Wellenberechnung.....	70
Tabelle 3.15: Berechnungsgrundlagen nach Gleichung 3.26 für Abbildung 3.38.....	78

Ebenen	Anzahl		Abstand1		Abstand2		Abstand 0		Gewicht		Voll		Nur Aiv		Leer		Trägheitsmoment																	
	62	350	8	100	250 mm	Last	200	140	70 kg	Getriebe	0,0396 kgm²	Gegengewicht	102	102	102 kg	Riemenscheibe	0,0177 kgm²	Motor	0,009 kgm²	Übersetzung	4,94	Zeiten		Lastkollektiv		4,60204241		Zeit zw Ebenen		3,42030466				
a_max	5 m/s²	s_min			2,5 m																													
v_max	5 m/s	t_a			1 s																													
Mittelwert			3,45				Leistung																											
Ebene	Höhe	Anfahr%	Vorbeifahr%	Zeit	P_anf1	P_abf1	P_stat1	P_anf2	P_abf2	P_stat2	P_anf3	P_abf3	P_stat3	t_Panf	t_Pstat	t_Pabf	Aiv Ab	Aiv Auf	Übergabe	Fahrzeit	%t_Panf	%t_Pabf	%t_Pstat	P*T²	Nach	62	61	60	59	58	57			
62	21600	1,61%	0,00%	5,40	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	5,40	0,00	2,8	2,2	5,3	21,10	0,00%	0,00%	0,83%	1011,97726	0	2,07	2,14	2,21	2,28	2,35				
61	21250	1,61%	1,61%	5,33	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	5,33	0,00	2,8	2,2	5,3	20,96	0,00%	0,00%	0,82%	998,859034	2,07	0	2,07	2,14	2,21	2,28				
60	20900	1,61%	3,23%	5,26	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	5,26	0,00	2,8	2,2	5,3	20,82	0,00%	0,00%	0,81%	985,74081	2,14	2,07	0	2,07	2,14	2,21				
59	20550	1,61%	4,84%	5,19	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	5,19	0,00	2,8	2,2	5,3	20,68	0,00%	0,00%	0,81%	972,622587	2,21	2,14	2,07	0	2,07	2,14				
58	20200	1,61%	6,45%	5,12	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	5,12	0,00	2,8	2,2	5,3	20,54	0,00%	0,00%	0,80%	959,504363	2,28	2,21	2,14	2,07	0	2,07				
57	19850	1,61%	8,06%	5,05	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	5,05	0,00	2,8	2,2	5,3	20,40	0,00%	0,00%	0,80%	946,386139	2,35	2,28	2,21	2,14	2,07	0				
56	19500	1,61%	9,68%	4,98	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,98	0,00	2,8	2,2	5,3	20,26	0,00%	0,00%	0,79%	933,267915	2,42	2,35	2,28	2,21	2,14	2,07				
55	19150	1,61%	11,29%	4,91	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,91	0,00	2,8	2,2	5,3	20,12	0,00%	0,00%	0,79%	920,149692	2,49	2,42	2,35	2,28	2,21	2,14				
54	18800	1,61%	12,90%	4,84	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,84	0,00	2,8	2,2	5,3	19,98	0,00%	0,00%	0,78%	907,031468	2,56	2,49	2,42	2,35	2,28	2,21				
53	18450	1,61%	14,52%	4,77	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,77	0,00	2,8	2,2	5,3	19,84	0,00%	0,00%	0,78%	893,913244	2,63	2,56	2,49	2,42	2,35	2,28				
52	18100	1,61%	16,13%	4,70	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,70	0,00	2,8	2,2	5,3	19,70	0,00%	0,00%	0,77%	880,795021	2,7	2,63	2,56	2,49	2,42	2,35				
51	17750	1,61%	17,74%	4,63	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,63	0,00	2,8	2,2	5,3	19,56	0,00%	0,00%	0,76%	867,676797	2,77	2,7	2,63	2,56	2,49	2,42				
50	17400	1,61%	19,35%	4,56	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,56	0,00	2,8	2,2	5,3	19,42	0,00%	0,00%	0,76%	854,558573	2,84	2,77	2,7	2,63	2,56	2,49				
49	17050	1,61%	20,97%	4,49	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,49	0,00	2,8	2,2	5,3	19,28	0,00%	0,00%	0,75%	841,440349	2,91	2,84	2,77	2,7	2,63	2,56				
48	16700	1,61%	22,58%	4,42	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,42	0,00	2,8	2,2	5,3	19,14	0,00%	0,00%	0,74%	828,322126	2,98	2,91	2,84	2,77	2,7	2,63				
47	16350	1,61%	24,19%	4,35	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,35	0,00	2,8	2,2	5,3	19,00	0,00%	0,00%	0,74%	815,203902	3,05	2,98	2,91	2,84	2,77	2,7				
46	16000	1,61%	25,81%	4,28	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,28	0,00	2,8	2,2	5,3	18,86	0,00%	0,00%	0,73%	802,085678	3,12	3,05	2,98	2,91	2,84	2,77				
45	15650	1,61%	27,42%	4,21	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,21	0,00	2,8	2,2	5,3	18,72	0,00%	0,00%	0,73%	788,967455	3,19	3,12	3,05	2,98	2,91	2,84				
44	15300	1,61%	29,03%	4,14	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,14	0,00	2,8	2,2	5,3	18,58	0,00%	0,00%	0,72%	775,849231	3,26	3,19	3,12	3,05	2,98	2,91				
43	14950	1,61%	30,65%	4,07	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,07	0,00	2,8	2,2	5,3	18,44	0,00%	0,00%	0,71%	762,731007	3,33	3,26	3,19	3,12	3,05	2,98				
42	14600	1,61%	32,26%	4,00	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	4,00	0,00	2,8	2,2	5,3	18,30	0,00%	0,00%	0,71%	749,612783	3,4	3,33	3,26	3,19	3,12	3,05				
41	14250	1,61%	33,87%	3,93	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,93	0,00	2,8	2,2	5,3	18,16	0,00%	0,00%	0,70%	736,49456	3,47	3,4	3,33	3,26	3,19	3,12				
40	13900	1,61%	35,48%	3,86	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,86	0,00	2,8	2,2	5,3	18,02	0,00%	0,00%	0,69%	723,376336	3,54	3,47	3,4	3,33	3,26	3,19				
39	13550	1,61%	37,10%	3,79	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,79	0,00	2,8	2,2	5,3	17,88	0,00%	0,00%	0,68%	710,258112	3,61	3,54	3,47	3,4	3,33	3,26				
38	13200	1,61%	38,71%	3,72	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,72	0,00	2,8	2,2	5,3	17,74	0,00%	0,00%	0,68%	697,139889	3,68	3,61	3,54	3,47	3,4	3,33				
37	12850	1,61%	40,32%	3,65	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,65	0,00	2,8	2,2	5,3	17,60	0,00%	0,00%	0,67%	684,021665	3,75	3,68	3,61	3,54	3,47	3,4				
36	12500	1,61%	41,94%	3,58	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,58	0,00	2,8	2,2	5,3	17,46	0,00%	0,00%	0,66%	670,903441	3,82	3,75	3,68	3,61	3,54	3,47				
35	12150	1,61%	43,55%	3,51	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,51	0,00	2,8	2,2	5,3	17,32	0,00%	0,00%	0,65%	657,785218	3,89	3,82	3,75	3,68	3,61	3,54				
34	11800	1,61%	45,16%	3,44	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,44	0,00	2,8	2,2	5,3	17,18	0,00%	0,00%	0,65%	644,666994	3,96	3,89	3,82	3,75	3,68	3,61				
33	11450	1,61%	46,77%	3,37	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,37	0,00	2,8	2,2	5,3	17,04	0,00%	0,00%	0,64%	631,54877	4,03	3,96	3,89	3,82	3,75	3,68				
32	11100	1,61%	48,39%	3,30	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,30	0,00	2,8	2,2	5,3	16,90	0,00%	0,00%	0,63%	618,430546	4,1	4,03	3,96	3,89	3,82	3,75				
31	10750	1,61%	50,00%	3,23	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,23	0,00	2,8	2,2	5,3	16,76	0,00%	0,00%	0,62%	605,312323	4,17	4,1	4,03	3,96	3,89	3,82				
30	10400	1,61%	51,61%	3,16	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,16	0,00	2,8	2,2	5,3	16,62	0,00%	0,00%	0,61%	592,194099	4,24	4,17	4,1	4,03	3,96	3,89				
29	10050	1,61%	53,23%	3,09	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,09	0,00	2,8	2,2	5,3	16,48	0,00%	0,00%	0,60%	579,075875	4,31	4,24	4,17	4,1	4,03	3,96				
28	9700	1,61%	54,84%	3,02	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	3,02	0,00	2,8	2,2	5,3	16,34	0,00%	0,00%	0,60%	565,957652	4,38	4,31	4,24	4,17	4,1	4,03				
27	9350	1,61%	56,45%	2,95	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	2,95	0,00	2,8	2,2	5,3	16,20	0,00%	0,00%	0,59%	552,839428	4,45	4,38	4,31	4,24	4,17	4,1				
26	9000	1,61%	58,06%	2,88	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	2,88	0,00	2,8	2,2	5,3	16,06	0,00%	0,00%	0,58%	539,721204	4,52	4,45	4,38	4,31	4,24	4,17				
25	8650	1,61%	59,68%	2,81	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24	-1,57	0,00	2,81	0,00	2,8	2,2	5,3	15,92	0,00%	0,00%	0,57%	526,60298	4,59	4,52	4,45	4,38	4,31	4,24				
24	8300	1,61%	61,29%	2,74	12,36	12,36	4,81	7,91	10,92	1,86	2,73	9,24																						

Daten
a 4,9959257976 m/s² Einzustellen 607
v 4,93831 m/s
Riemenscheibe 152,79 mm
i_getriebe 4,86

Winkel 90 90 87,27 54,7 32,57

Rollenbelastung

Fahrzyklus	Gewicht	Gegengewicht	F1	F2	F3	F_V	OV	OH	UV	MR	alpha	GR
Leer Auf	85	102	6766,50	6275,47	5508,00	5508	9569,28	9569,28	7972,84	13371,53	32,01	12047,38
Leer Ab	85	102	7018,20	5508,00	6609,01	5508	9925,24	9925,24	9566,55	13743,82	27,39	10574,02
Leer Stat	85	102	6508,62	5508,00	5674,77	5508	9204,58	9204,58	8214,23	12695,59	29,64	10574,02
AiV Auf	140	102	7580,83	7089,79	5508,00	5508	10720,91	10720,91	7972,84	14277,11	33,80	13610,69
AiV Ab	140	102	7018,20	5508,00	6344,23	5508	9925,24	9925,24	9183,28	13448,45	27,99	10574,02
AiV Stat	140	102	6881,40	5880,78	5508,00	5508	9731,77	9731,77	7972,84	12928,24	31,05	11289,67
Beladen auf	200	102	8469,19	7978,15	5508,00	5508	11977,24	11977,24	7972,84	15253,28	35,49	15316,11
Beladen ab	200	102	7018,20	5508,00	6055,39	5508	9925,24	9925,24	8765,18	13124,73	28,68	10574,02
Beladen Stat	200	102	7470,00	6469,38	5508,00	5508	10564,18	10564,18	7972,84	13588,22	32,46	12419,64

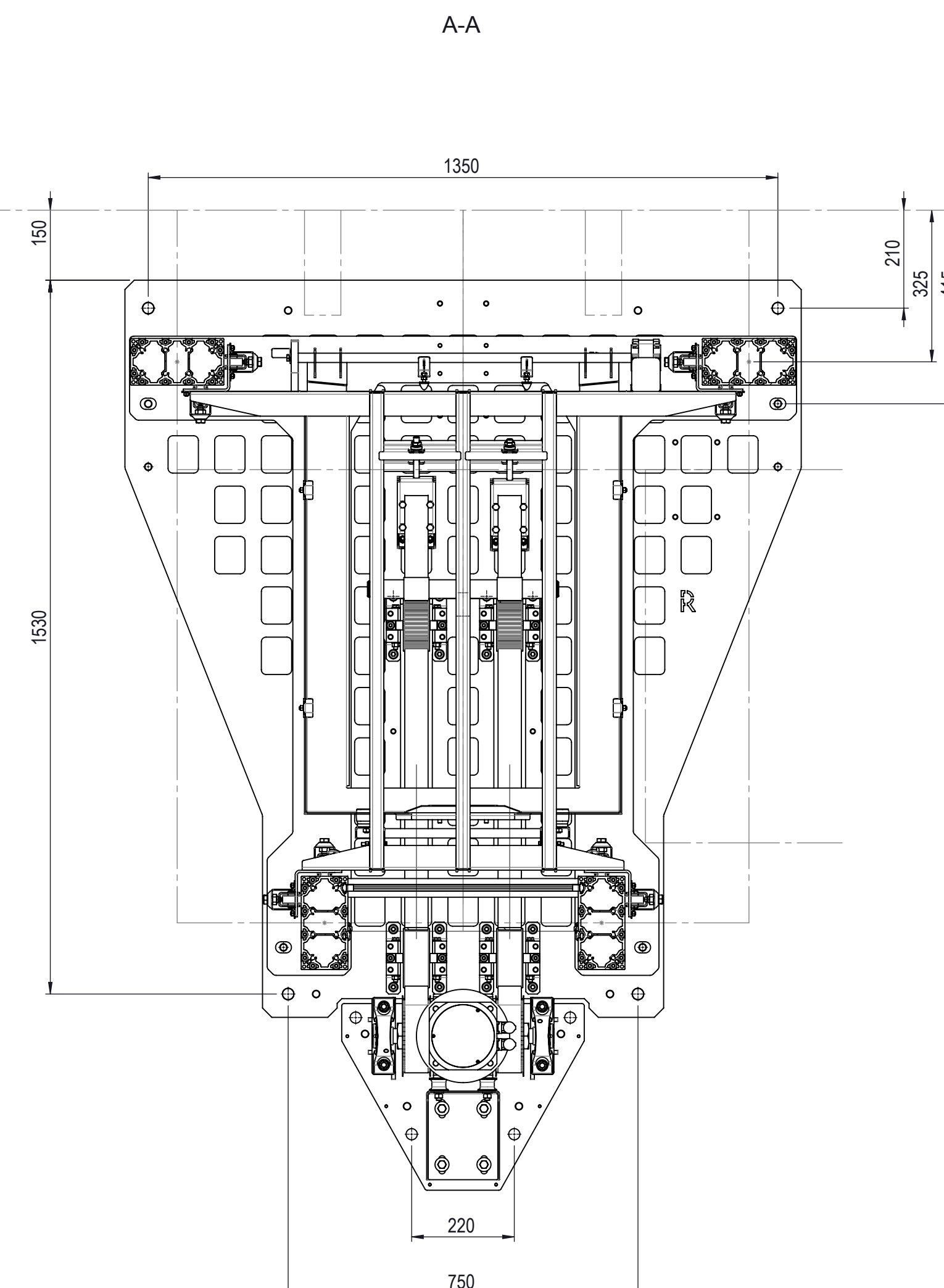
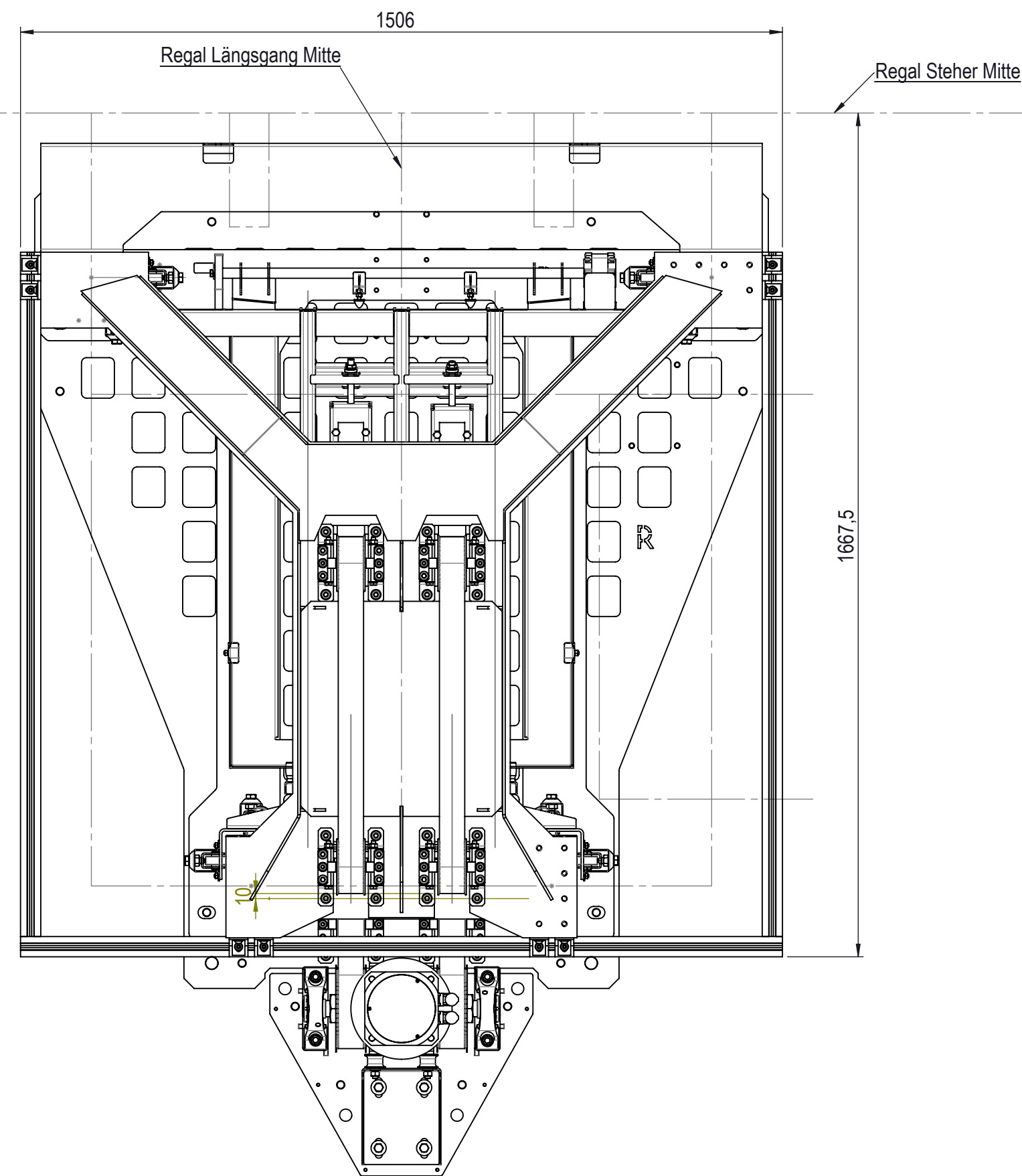
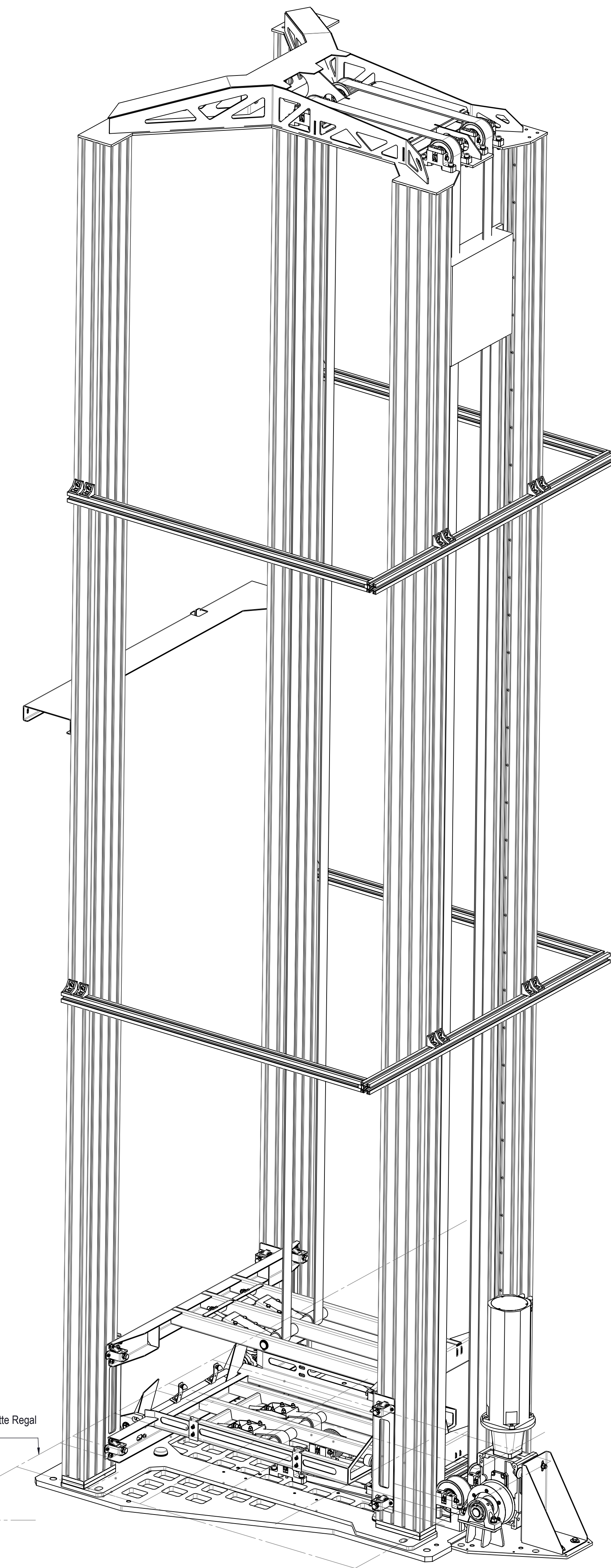
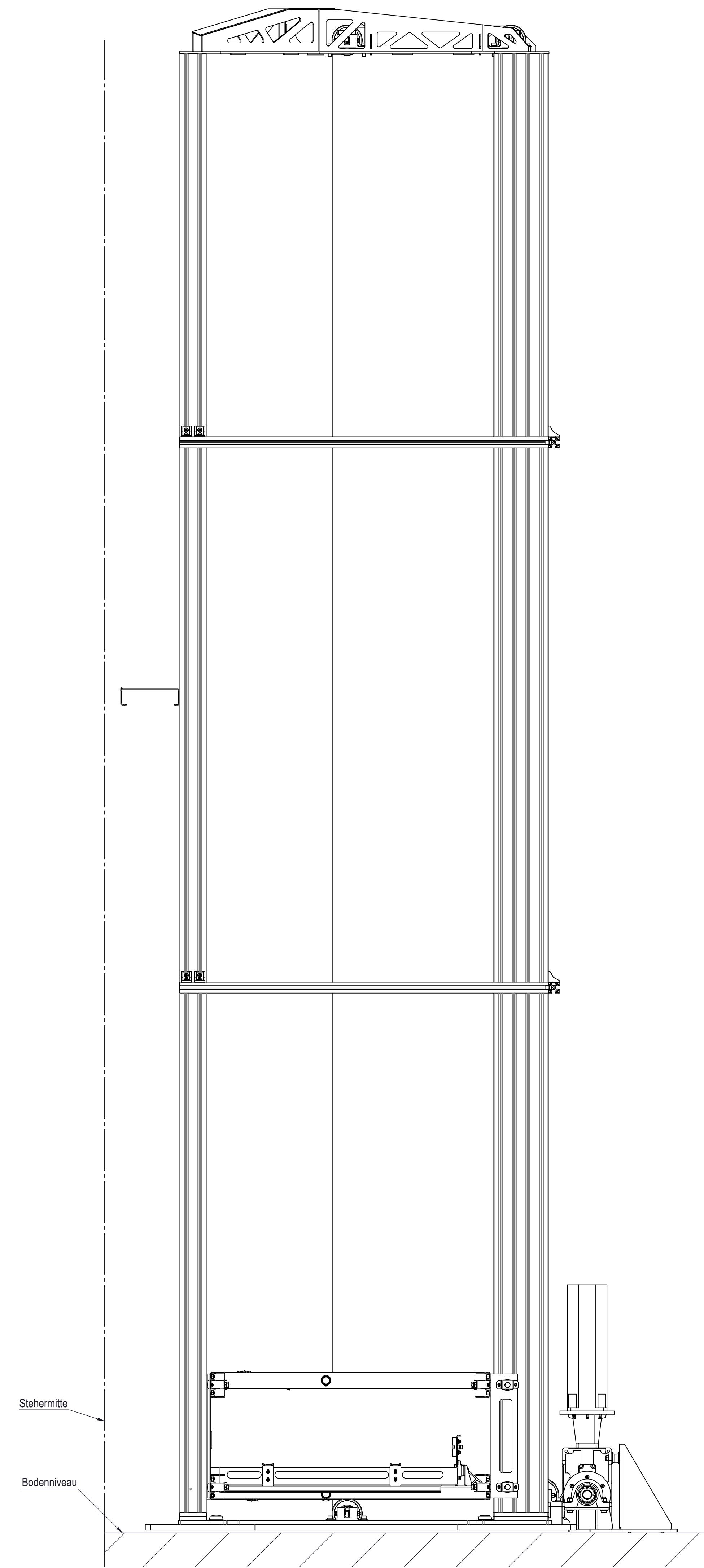
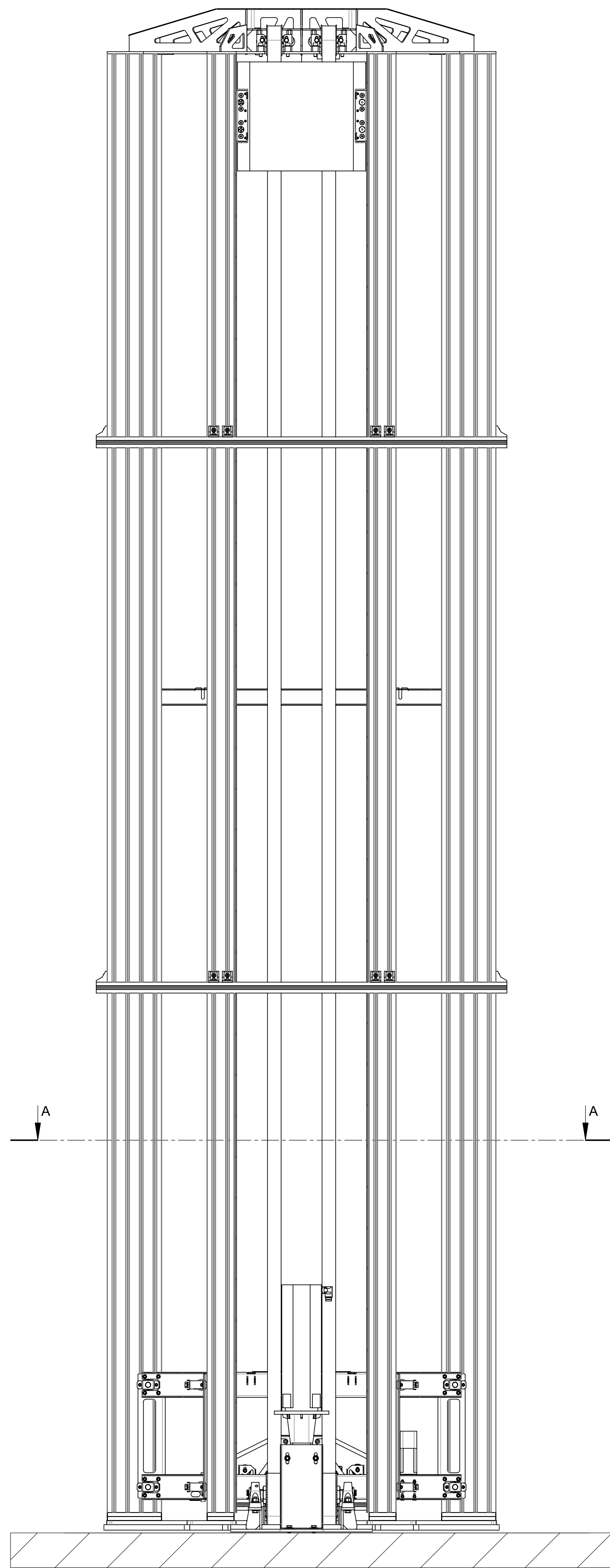
Maximalbelastung 8469,19 7978,15 6609,01 Maximal 11977,24 11977,24 9566,55 15253,28 15316,11 N
Sicherheitsfaktor 2,644882545

Riemenberechnung Lagerlebensdauer 4,38 4,38 10,18 4,37 3,17 Jahre

l1 34675
l2 12675
lges 47350

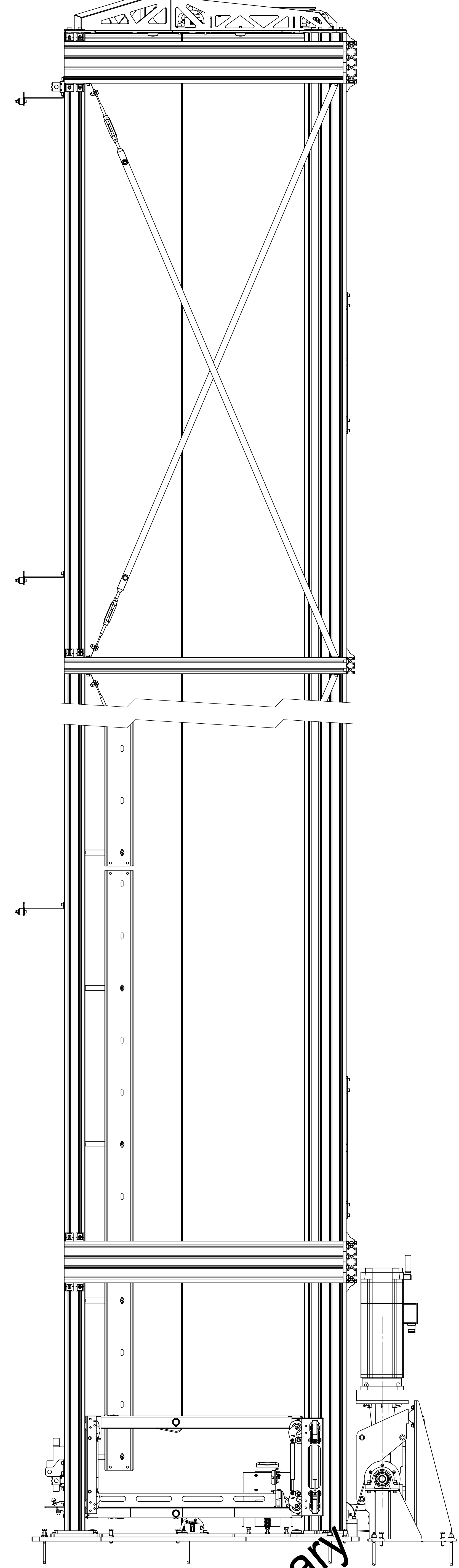
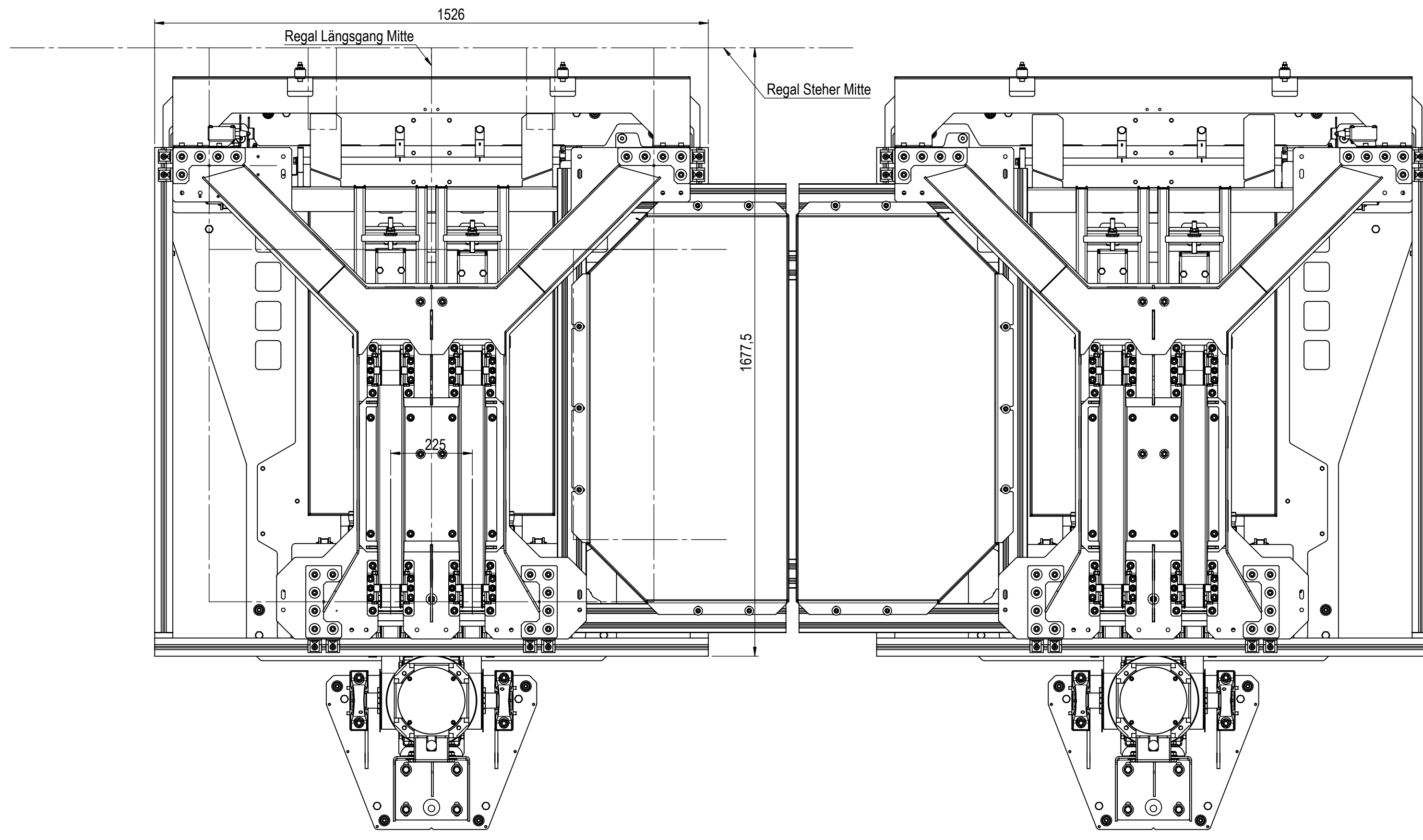
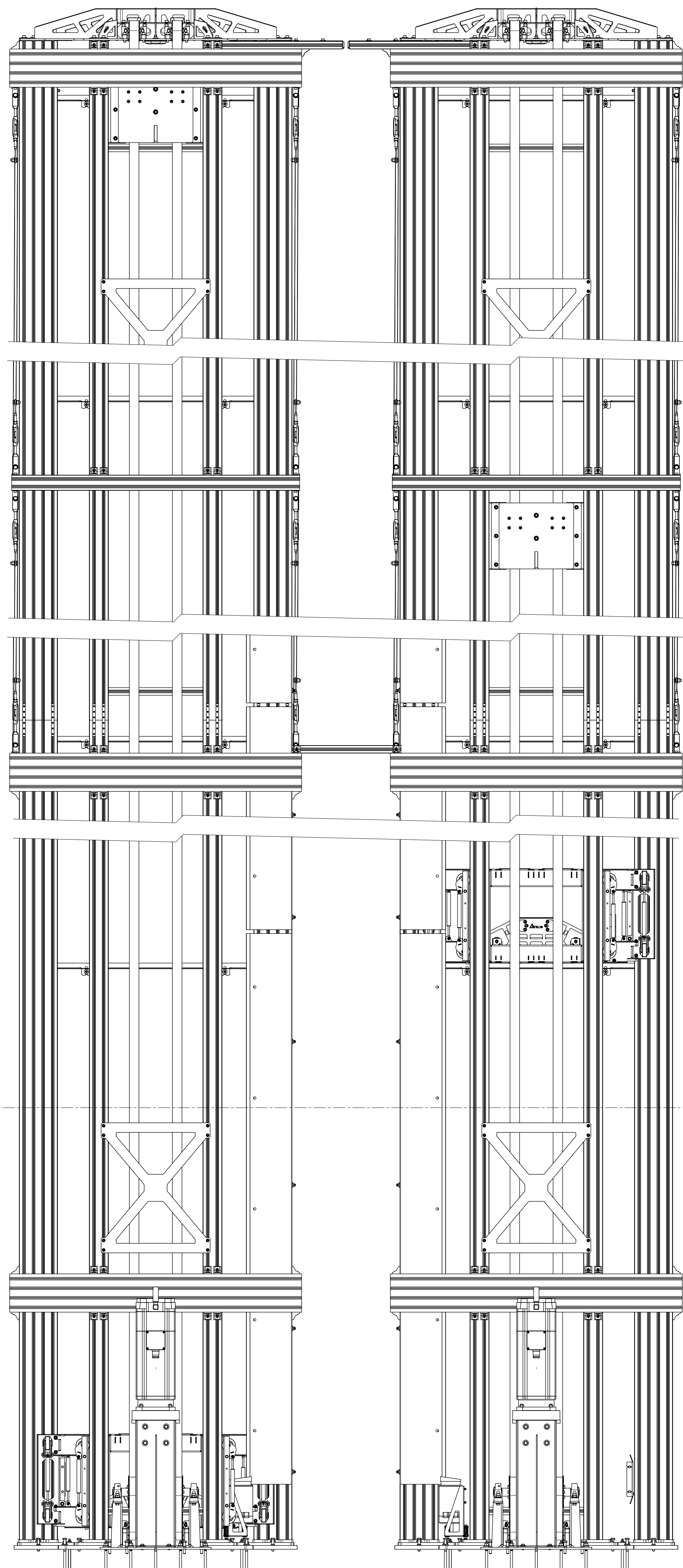
C_spez 2,80E+06 N
M 3,40E-01 kg/m

dl_v 23,29 mm Vorspannweg
f 45 Hz 1 m Freischwingend
f ist 45 Hz
F 2.754 N

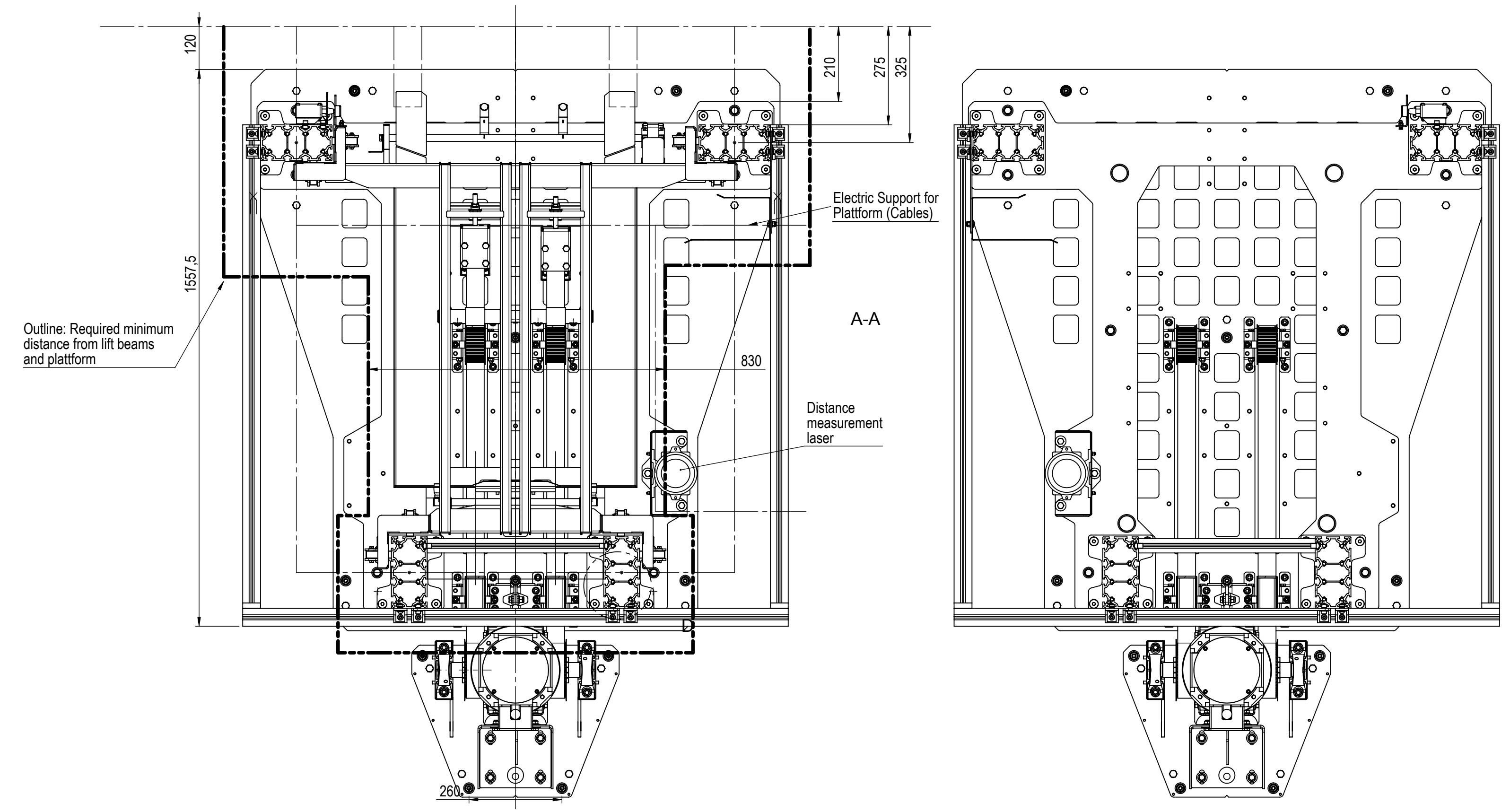
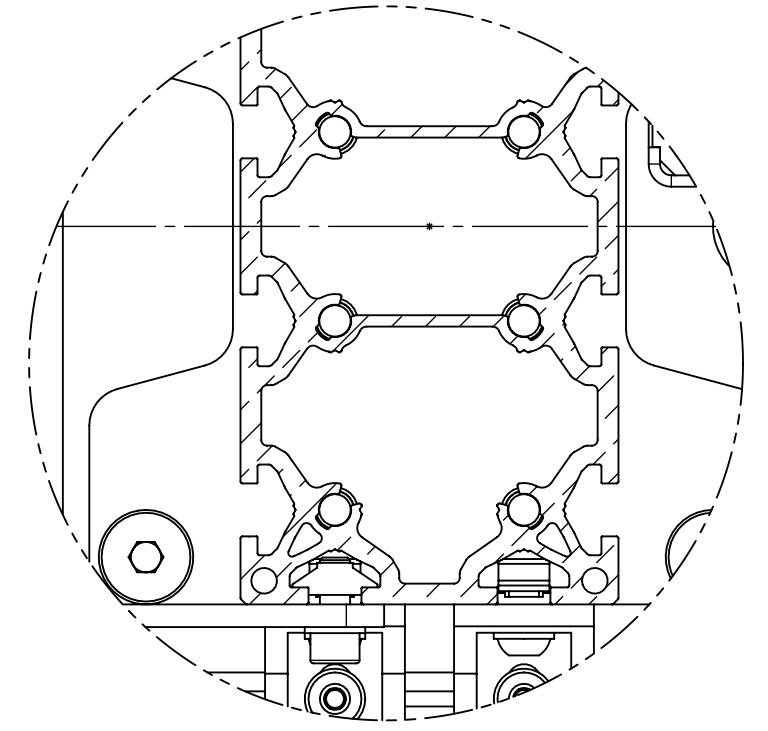


Werkstoff: siehe Stückliste	M00000	28.03.12	HOK							
Farbe / Oberfl. Behandl.	-									
FMT:										
GeR [g]:	0.000									
Massstab:	1:10									
Projektions Methode	1. Ordnung	Tag	Name	Model-Nr.:	Z2210001					
Gez.:	120322	Magmet		Zeichnungs-Nr.:	22-10001					
Firma:	YLOG			Benennung	Lift Single Straight 64					
					YLOG Halle8					

Preliminary

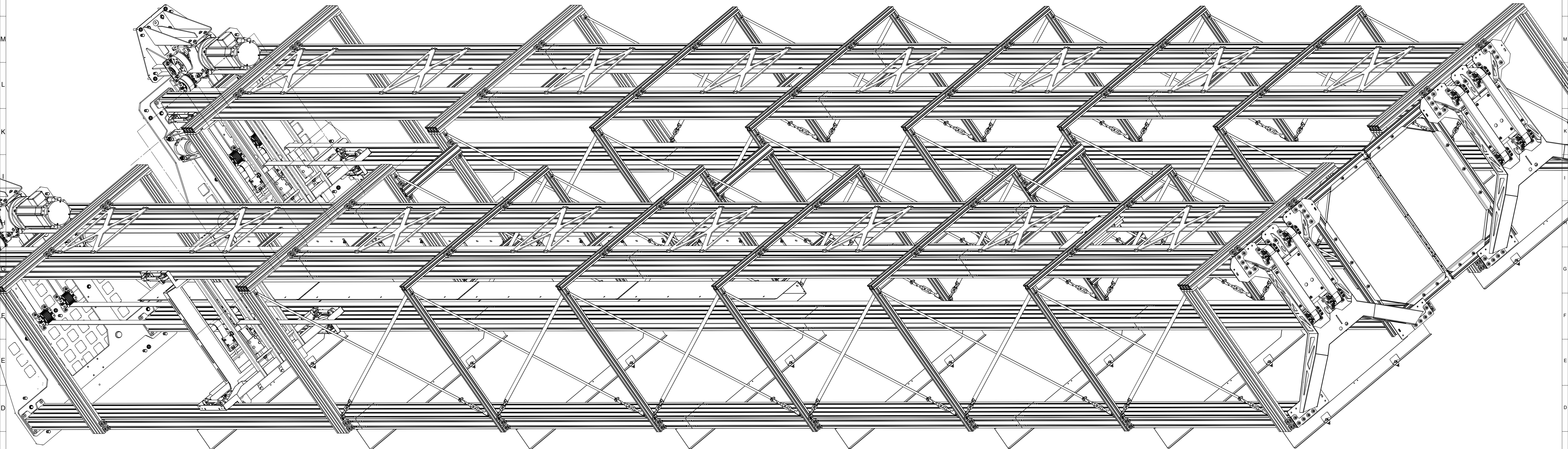
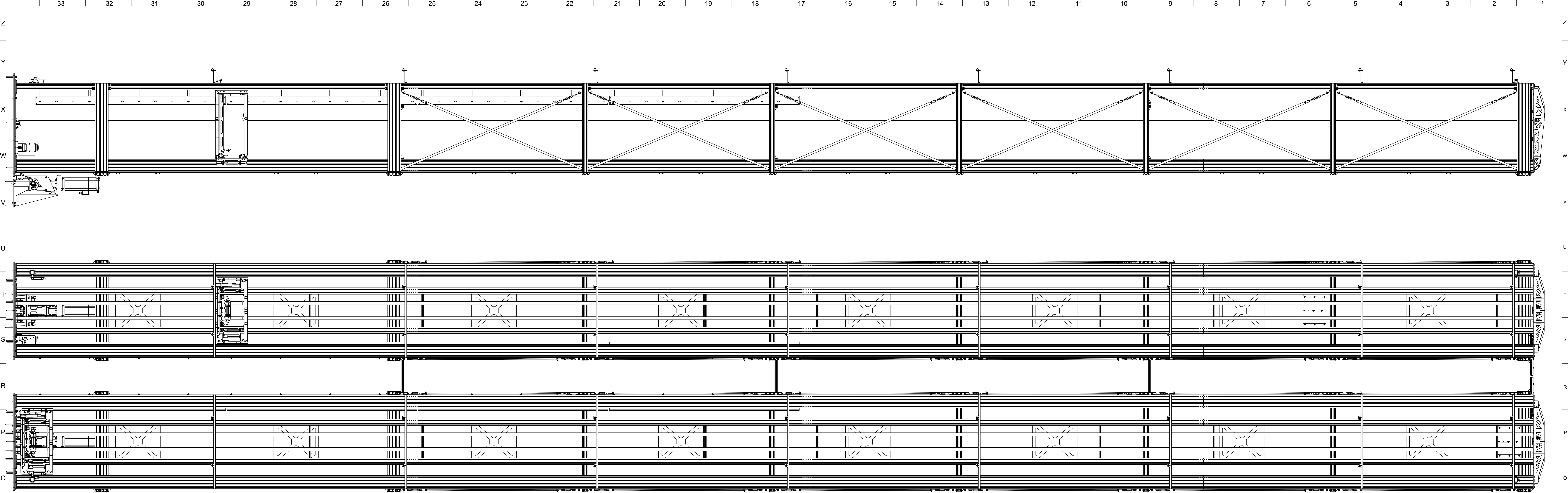


DETAIL D
MAßSTAB 1 : 2



Arbeitsstoff:	siehe Stückliste	M00000	28.03.12	HGA					
Farbe / Oberfl. Behandl.									
FMT:									
Gez.:	120315	HolwegA							
Gez. (g):	2358559.312								
Maßstab:	1:10								
Projektionsmethode:									
Firma:	ylog								
Benennung:	Lift Single Straight 64								
Ahlsell:									
Model-Nr.:	Z2210030								
Zeichnungs-Nr.:	22-10001								

Preliminary



(1: 10)

Werkstoff: siehe Stückliste	neu Typ	Gr Anz	M0000 Änderungs-Nr.	15.05.12 Datum	HGA Name	Typ	Anz	Änderungs-Nr.	Datum	Name
Farbe / Oberfl.Behandlung:	Copyright © 1999-2009, all rights reserved. This drawing is the property of YLOG and may not be reproduced in any form, either in whole or in part, or made available to any third party or used for manufacturing or any other purpose without the prior permission of YLOG GmbH.									
FMT: DIN ISO 2768 "MITTEL"	Projektions Methode	Tag 120315	Name HolwegA	Model-Nr.: Z2210030						
Gewicht [g]: 258559.312	Zeichnungs-Nr.: 22-10001		Benennung Lift Single Straight 64 Ahsell							
Maßstab: 1:20	Firma: 									