



**Diplomarbeit**

**Dipl. Maschinenbautechniker HF**

# **Umbau Türantrieb Standseilbahn**

**Diplomand**

**Nils Schneider**

**Klasse**

**O-TMA-21-T-a**

**Diplomlehrer**

**Antonio Foschini**

**Abgabetermin**

**04.11.2024**

## Management Summary

### Ausgangslage

Für die Standseilbahn St. Moritz - Chantarella ist für den Sommer 2026 eine Komplettrevision sowie ein umfangreicher Türumbau geplant. Aktuell sind pneumatische Türen in Betrieb und es soll auf elektrische Antriebe umgerüstet werden. Aufgrund der hohen zeitlichen und finanziellen Aufwände, die mit dem Türumbau verbunden sind, wurde entschieden, im Vorfeld einen Prototyp zu entwickeln. Dieser Prototyp soll an einem von insgesamt 20 Türportalen getestet werden, um die Machbarkeit und Effizienz des Umbaus zu gewährleisten.

### Vorgehen

Das Vorgehen der Diplomarbeit erfolgt gemäss dem 4-Phasenmodell, das eine strukturierte Herangehensweise an das Projekt gewährleistet. Zunächst erfolgt die Projektinitialisierung, in der die Projektziele definiert und die Rahmenbedingungen geklärt werden. Darauf folgt die Projektplanung, in der die einzelnen Arbeitsschritte, Ressourcen und der Zeitplan festgelegt werden. Im Anschluss beginnt die Projektrealisierung, in der die geplanten Massnahmen umgesetzt und die Ergebnisse erzielt werden. Abschliessend wird im Projektabschluss das gesamte Projekt evaluiert, Erfolge und Misserfolge analysiert und die Ergebnisse dokumentiert, um wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Projekte zu gewinnen. Dieses Modell ermöglicht eine systematische Vorgehensweise und trägt zur erfolgreichen Umsetzung von Projekten bei.

### Ergebnis

Das Ergebnis ist ein ausgearbeitetes Konzept mit allen Fertigungsunterlagen für den Türantrieb der Standseilbahn St. Moritz - Chantarella. Es beinhaltet eine detaillierte Beschreibung der Umbauaufwände, des Gegengewichts, des Türantriebs und der restlichen Befestigungselemente. Eine umfassende Kostenzusammenstellung sowie eine Montageanweisung sind ebenfalls Teil der Diplomarbeit. Die notwendigen Berechnungen für die Festlegung der Dimensionen wurden sorgfältig durchgeführt, um die Funktionalität zu gewährleisten. Bei vielen Bauteilen war dies nicht mehr notwendig, da bereits vergleichbare Teile bei anderen Kommissionen verwendet werden, was den Planungsaufwand erheblich reduziert hat. Im Anhang sind bewusst nur die Baugruppenzeichnungen angehängt, da der Anhang ansonsten unnötig lang wird und die Übersichtlichkeit darunter leidet.

### Ausblick

Das ausgearbeitete Konzept wird nach der Abgabe der Diplomarbeit der AVOR übergeben, um mit den erstellten Fertigungsunterlagen den Prototyp zu beschaffen. Anschliessend werden die Komponenten in der CWA vormontiert, so dass im März 2025 auf der Anlage der Einbauversuch stattfinden kann. Wenn der Test erfolgreich ist, werden wenn notwendig noch Anpassungen vorgenommen und dann die Komponenten für die Serie beschafft.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
1.1	Lebenslauf .....	5
1.2	Qualifikationsprofil .....	7
1.3	Firmenvorstellung .....	9
<b>2</b>	<b>Projektinitialisierung .....</b>	<b>11</b>
2.1	Pflichtenheft .....	11
2.1.1	Ausgangslage .....	11
2.1.2	Projektziele .....	11
2.1.3	Projektorganisation .....	11
2.1.4	Anforderungen .....	12
2.2	Zielscheibe .....	16
<b>3</b>	<b>Projektplanung .....</b>	<b>17</b>
3.1	Vorgehensmodell .....	17
3.2	Projektstrukturplanung .....	17
3.3	Zeitmanagement .....	18
3.4	Projektablaufplanung .....	19
3.5	Kommunikationsplanung .....	20
3.6	Risikoanalyse .....	21
<b>4</b>	<b>Projektrealisierung .....</b>	<b>23</b>
4.1	Analyse der Ausgangslage .....	23
4.2	Brainstorming .....	31
4.3	Morphologischer Kasten .....	32
4.4	Variantenbildung .....	33
4.4.1	Kurzbeschreibung der Variante «E-Zylinder» .....	33
4.4.2	Kurzbeschreibung der Variante «Gegengewicht» .....	35
4.4.3	Kurzbeschreibung der Variante «E-Motor» .....	37
4.5	Evaluation der geeignetsten Variante .....	39
4.5.1	Präferenzmatrix .....	40
4.5.2	Nutzwertanalyse .....	41
4.5.3	Resultat der Variantenevaluation .....	42
<b>5</b>	<b>Ausarbeitung der Variante «Gegengewicht» .....</b>	<b>43</b>
5.1	Anpassungen der Gegebenheiten .....	44
5.2	Türantrieb .....	45
5.3	Türführung .....	46
5.4	Gegengewicht .....	47

5.5	Notentriegelung.....	49
5.6	Einschätzung Prototypenerprobung.....	50
5.7	Kostenzusammenstellung.....	51
5.8	SWOT – Analyse .....	53
<b>6</b>	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>54</b>
6.1	Zielerreichung .....	54
6.2	Reflexion .....	55
6.3	Lessons learned.....	55
6.4	Feedback Fachexperte .....	56
6.5	Danksagung.....	57
6.6	Eigenständigkeitserklärung.....	58
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>59</b>
7.1	Quellenverzeichnis.....	59
7.2	Abbildungsverzeichnis .....	59
7.3	Sitzungsprotokolle .....	61
7.4	Montageanweisung .....	66
7.5	Zeichnungen.....	67
7.6	Datenblätter.....	83
7.7	Offerten.....	92

## 1 Einleitung

### 1.1 Lebenslauf



**NILS**

**SCHNEIDER**

PROJEKTLEITER TECHNIK



Oensingenstrasse 15,  
4703 Kestenholz



079 885 61 87



nils.schneider@ggs.ch

## BERUFSERFAHRUNG

---

### PROJEKTLEITER TECHNIK

10.2021 - HEUTE

CWA Constructions SA, Olten

- Abwicklung von Kundenprojekten im Bereich Technik.
- Sicherstellung für die Einhaltung von Normen, Sicherheit und Qualität.
- Sicherstellung der Inbetriebnahme der Kabine bis zur Übergabe des Projektes.
- Sicherstellung der Koordination mit den verschiedenen Abteilungen, sowie Einhaltung der Projektkosten.
- Organisation und Durchführung der Ausbildung von Lernenden.

### KONSTRUKTEUR ENTWICKLUNG

01.2020 - 09.2021

CWA Constructions SA, Olten

- Entwicklung und Konstruktion von Teil- und Komplettsystemen an Seilbahnkabinen.
- Erstellen von Montage- und Betriebsanweisungen.
- Durchführen und Auswerten von Versuchsreihen, sowie Unterstützung beim Aufbau von Prototypen.

### ZIVILDIENTST MECHANIK

03.2019 - 12.2020

VEBO Genossenschaft, Oensingen

- Betreuung von beeinträchtigten Menschen.
- Dreh-, Fräs-, Säge- und Bohrmaschinen einrichten.
- Qualitätskontrolle von gefertigten Produkten durchführen.

### KONSTRUKTEUR PRODUKT BETREUUNG

08.2018 - 12.2018

Schaerer AG, Zuchwil

- Entwicklung und Konstruktion von Teil- und Komplettsystemen an Kaffeevollautomaten.
- Durchführen und Auswerten von Versuchsreihen, sowie Unterstützung beim Aufbau von Prototypen.
- Erstellen von Stücklisten und Zeichnungen für die AVOR.
- Kostenoptimierungen an bestehenden Konstruktionen.
- Erstellen von Teilverordnungen, Dokumentationen und Reportings.

## AUS- UND WEITERBILDUNGEN

---

<b>DIPL. MASCHINENBAUTECHNIKER HF</b> TEKO, Olten	10.2021 - 11.2024
<b>BERUFSBILDNER</b> EBZ, Solothurn	10.2021 - 12.2021
<b>KONSTRUKTEUR EFZ</b> Schaerer AG, Zuchwil	08.2014 - 07.2018

## IT-KENNTNISSE

---

<b>PTC CREO:</b>	Experte
<b>NX SIEMENS:</b>	Experte
<b>WINDCHILL:</b>	gute Anwenderkenntnisse
<b>PRO.FILE:</b>	sehr gute Anwenderkenntnisse
<b>TEAMCENTER:</b>	sehr gute Anwenderkenntnisse
<b>SAP:</b>	gute Anwenderkenntnisse
<b>ABACUS:</b>	gute Anwenderkenntnisse
<b>IFS:</b>	sehr gute Anwenderkenntnisse
<b>MS OFFICE:</b>	sehr gute Anwenderkenntnisse

## SPRACHKENNTNISSE

---

<b>Deutsch:</b>	Muttersprache
<b>Französisch:</b>	Elementare Sprachanwendung (A1)
<b>Englisch:</b>	Selbstständige Sprachanwendung (B2)

## 1.2 Qualifikationsprofil

### Dipl. Techniker HF, Maschinenbau

<b>Menschen führen</b>	Als Projektleiter und Berufsbildner habe ich einzelne Mitarbeiter und kleinere Teams geführt, die Arbeitspakete verteilt und die Projektziele überwacht.
Prozess 1	
<b>Entscheidungen fällen</b>	Als Projektleiter habe ich an Wochenabgleichmeetings durchdachte und abgewogene Entscheidungen getroffen, um den Liefertermin halten zu können.
Prozess 2	
<b>Projekte planen und leiten</b>	Ich habe Entwicklungsprojekte, sowie auch Kundenprojekte von der Projektinitialisierung bis zum Projektabschluss und die Übergabe an den Aftersales erfolgreich durchgeführt.
Prozess 3	
<b>Sich sprachlich verständigen</b>	Ich habe technische Unterlagen zur Abklärung von Details bei Kunden in deutscher, sowie englischer Sprache erstellt.
Prozess 4	Internationale Kundenbesuche, Meetings und auch Werksführungen habe ich bereits auf Deutsch und Englisch durchgeführt.
<b>Wirkungsvoll präsentieren und kommunizieren</b>	Im Rahmen der zahlreichen Semester- und Projektarbeiten habe ich die erlernten Präsentationstechniken, der Klasse und dem Dozenten wirkungsvoll nähergebracht.
Prozess 5	
<b>Umfeld berücksichtigen</b>	Ich habe Richtlinien und Normen bei der Abwicklung von Kundenprojekten berücksichtigt und eingehalten.
Prozess 8	Ich unterstützte die Lernenden und die anderen Mitarbeiter bei der Einführung in die neuen CAD-, PLM- und ERP Programmen, da ich das erste Projekt im «neuen System» gemacht habe.
<b>Probleme analysieren und lösen</b>	Probleme, die in der Montage aufgetreten sind, habe ich mit Ideenfindungs- und Problemlösungstechniken erfolgreich gelöst.
Prozess 9	Als Produktverantwortlicher der KRONOS Kabine, habe ich alte und aktuelle Probleme an der Kabine gelöst und somit die Montage für die Zukunft vereinfacht.
<b>Sich persönlich weiter entwickeln</b>	Das Fachwissen und die Anwendung neuer Technologien und Tools im Rahmen von Systemeinführungen und System-Migrationen erworben.
Prozess 10	Durch vermehrten Kontakt mit der Geschäftsleitung und das Beisitzen unterschiedlichen Meetings konnte ich mir verschiedene Kommunikations- und Menschenkenntnisfähigkeiten aneignen.

---

**Produkte entwickeln**  
Prozess 11

In der Entwicklung habe ich Optionen einer Umlaufbahnkabine von der Idee des Produktmanagement bis zur Serienfertigung bei externen Lieferanten begleitet.

---

**Baugruppen und Maschinen konstruieren**  
Prozess 12

Als Projektleiter für Pendelbahnen habe ich in enger Zusammenarbeit mit unserer Berechnungsingenieuren und dem ANSYS das Gerippe der Kabine so ausgelegt, dass es den geforderten Lasten standhält.

Ich habe Normteile, Einzelteile, Baugruppen, Schweissteile, Blechteile und auch Spritzgussteile konstruiert und auch die dazugehörigen Fertigungsunterlagen erstellt.

---

**Produktion leiten**  
Prozess 13

Durch das Leiten von Projekten, führte ich Meetings, plante ich mittels A-Plan das komplette Projekt von Vorkonzepten, über Konstruktion und Fertigung bis zur Auslieferung an den Endkunden.

---

### 1.3 Firmenvorstellung

Anton Frech gründete die Carrosserie-Werke Aarburg 1939. Alles begann mit dem Umbau von amerikanischen Autos zu Sanitäts- und Feuerwehrgewagen. Später baute das Unternehmen auch Reisecars. Der Seilbahnbauer Gerhard Müller verliess sich schon damals auf die Kenntnisse von CWA im Aluminium-Leichtbau und gab 1956 die erste Seilbahnkabine in Auftrag.



Abbildung 1: Bilder aus dem CWA-Archiv

In der Zwischenzeit hat sich CWA mehr und mehr auf den Bau von Fahrzeugen für Seilbahnen spezialisiert. Seit 2001 gehört CWA zur Doppelmayr Gruppe und ist das Kompetenzzentrum für Kabinen- und Fahrzeugbau.



Abbildung 2: Alle Firmen die der Doppelmayr Gruppe angehören

Die Marken der Doppelmayr Gruppe sind alle Spezialisten auf ihrem Gebiet. Die CWA in der Schweiz und die Carvatech in Österreich, sind für den hochwertigen Karosserie- und Kabinenbau zuständig. Die Firma Garaventa ist Experte im Thema Standseil-, Pendel- und Spezialbahnen. Gassner macht Sessel- und Stahlkonstruktionen für den Seilbahnbau. Frey Stans ist zuständig für die Steuerungstechnik in der Seilbahnbranche und Input sorgt sich um die Projektentwicklung für Erlebniskonzepte.

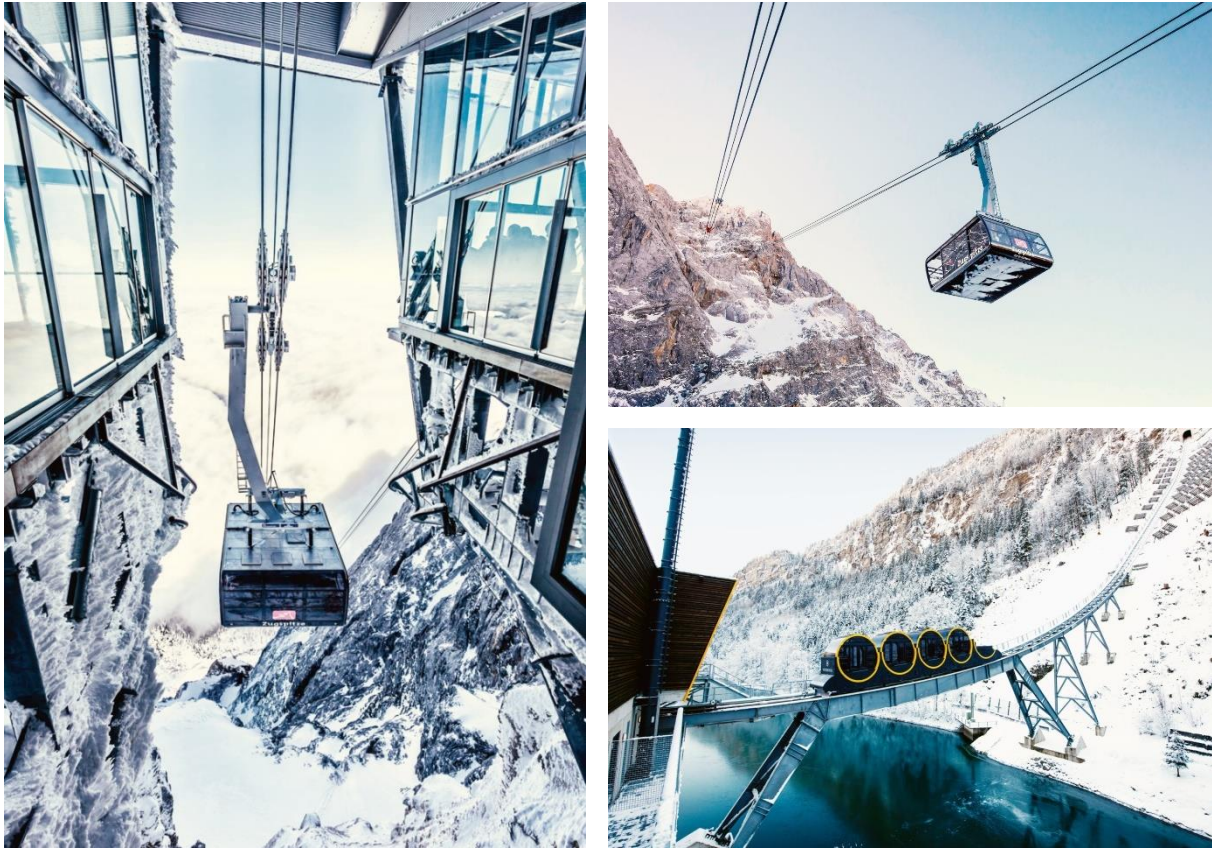


Abbildung 3: Prestigeprojekte der CWA

### Fakten zur CWA



## 2 Projektinitialisierung

### 2.1 Pflichtenheft

#### 2.1.1 Ausgangslage

Auf Kundenanfrage und der daraus resultierenden Bestellung darf für den Kunden, Standseilbahn St. Moritz - Chantarella, im Sommer 2026 eine Komplettrevision sowie ein Türumbau durchgeführt werden. Da der Türumbau in der Umsetzung sehr zeit- und kostenintensiv ist, wird vorab ein Prototyp benötigt, welcher an einem von insgesamt 20 Türportalen getestet wird. Vorab wurde die Machbarkeit geprüft und als gegeben eingestuft. Begründet wird dies durch ausreichend vorhandenen Konstruktionsraum, welcher ggf. erweitert werden kann.

#### 2.1.2 Projektziele

Ziel des Projekts ist es ein Umbauset zu definieren und auszuarbeiten, damit nach Abschluss des Projekts ein Prototyp gebaut und im Fahrzeug montiert und erprobt werden kann. Die daraus resultierenden Erkenntnisse sollen zu einem reibungslosen Ablauf der Revision inkl. Türumbau führen.

#### 2.1.3 Projektorganisation

Nr.	Name/ Vorname	Funktion	Kontaktdaten	Unterschrift
1	Schneider Nils	Projektleiter Technik, Diplomand	Bornfeldstrasse 6 4601 Olten <a href="mailto:nils.schneider@cwa.ch">nils.schneider@cwa.ch</a> 079 651 92 32	
2	Rüegger Andreas	Projektleiter Technik, Fachexperte	Bornfeldstrasse 6 4601 Olten <a href="mailto:andreas.ruegger@cwa.ch">andreas.ruegger@cwa.ch</a> 079 690 50 14	
3	Foschini Antonio	Diplomlehrer, Experte	<a href="mailto:antonio.foschini@edu.teko.ch">antonio.foschini@edu.teko.ch</a> 076 469 84 76	

## 2.1.4 Anforderungen

Die folgenden Tabellen weisen die relevanten Anforderungen auf, welche die Lösung erfüllen muss. Dabei werden die Anforderungen in folgende Gruppen aufgeteilt.

- Masse und Design
- Funktion
- Normen
- Richtlinien
- Materialien
- Kommerziell
- Dokumentation

Wunsch-Anforderungen «**W**» sind als solche gekennzeichnet und zusätzlich mit einer Gewichtung von 1-5 gewichtet. (1 unwichtig – 5 wichtig)

Bei Muss-Anforderungen «**M**» wird keine Gewichtung angegeben.

### Masse und Design

Nr.	Beschreibung der Anforderung	Wert	Anforderung	Gewichtung
1	Der Türantrieb soll möglichst wenig Bauraum einnehmen unter Einhaltung «Funktion vor Design». Ggf. ist der Dachseitenkanal entsprechend anzupassen.		W	5
2	Das Lichtraumprofil des Fahrzeuges muss eingehalten werden (die bestehenden Aussenabmessungen dürfen nicht überschritten werden).		M	
3	Vorzugsweise ist ein Antriebssystem von Gilgen zu verwenden.		W	4
4	Die Antriebe sollen bei jedem Portal dieselbe Konfiguration aufweisen. Unterschiede sollen nur erzeugt werden durch Positionieren L oder R im Fahrzeug oder durch unterschiedliche Lichtweiten.		W	2
5	Der Antrieb muss vollumfänglich abgedeckt sein, sodass nicht in bewegliche Teile gefasst werden kann.		M	
6	Die bestehende Lichtweite der Türe muss eingehalten werden.		M	

## Funktion

Nr.	Beschreibung der Anforderung	Wert	Anforderung	Gewichtung
1	Lebensdauer gemäss Kabinenlebensdauer.	25 - 30 Jahre	W	3
2	Jegliche mechanische Komponenten müssen zugänglich sein für Wartung und Ersatz.		M	
3	Der Antrieb resp. die Verriegelung muss vom Fahrzeuginnern und von aussen notentriegelt werden können (mit Vierkantschlüssel oder Plombe gesichert).		M	
4	Die Mechanismen müssen von Regenwasser geschützt verbaut werden.		M	
5	Der Türantrieb muss im Falle eines Defekts manuell geschlossen und verriegelt werden können, sodass der Betrieb mit einer gewissen Einschränkung weitergeführt werden kann.		M	
6	Der Antriebsmotor soll in der Geöffnet- resp. Geschlossenposition stromlos sein. Wird eine Offen- resp. Schliesshaltekraft benötigt, soll diese über ein zusätzliches Element (z. B. Elektromagnet) erfüllt werden.		W	4
7	Vor der Türbewegung muss mit einem optischen sowie akustischen Signal gewarnt werden.		M	

## Normen

Nr.	Beschreibung der Anforderung	Wert	Anforderung	Gewichtung
1	Seilbahnrichtlinie	(EU) 2016/424	M	
2	Einklemmkräfte gem. EN 13796-1	< 150 N	M	
3	Anforderungskategorie «AK3»		M	

## Richtlinien

Nr.	Beschreibung der Anforderung	Wert	Anforderung	Gewichtung
1	Oberflächenrichtlinien CWA		M	
2	Schweissrichtlinien CWA		M	
4	Brandschutzrichtlinien CWA		M	
5	Kleberichtlinien CWA		M	
6	Güteeigenschaften CWA		M	

## Materialien

Nr.	Beschreibung der Anforderung	Wert	Anforderung	Gewichtung
1	Die Mechanismen sind möglichst leicht auszuführen, jedoch ohne die Funktion zu beeinträchtigen.		W	5
2	Die verbauten Komponenten sind korrosionsbeständig.		W	4
3	Mechanisch beanspruchte Teile sind möglichst verschleissbeständig auszulegen.		W	4

## Kommerziell

Nr.	Beschreibung der Anforderung	Wert	Anforderung	Gewichtung
1	Materialkosten für den Prototyp soll nicht überschritten werden.	12000 CHF	W	4
2	Der Prototyp soll im März 2025 getestet werden.	März 2025	W	4
3	Die Antriebe und deren Komponenten müssen zertifiziert und rückverfolgbar sein.		M	

## Dokumentation

Nr.	Beschreibung der Anforderung	Wert	Anforderung	Gewichtung
1	Fertigungsunterlagen erstellen (PDF, DXF, STEP).		M	
2	Datenblätter, Schema, Zertifikate von Einkaufsteilen beschaffen.		M	
3	IFS-Stückliste inkl. Montagematerial erstellen (Klebstoffe, Verbindungsmaterial, Lacke, etc.).		M	
4	Montageanleitung mit Verweis auf Artikelnummern übergeordneten Baugruppen erstellen.		M	
5	Kostenschätzung für Prototyp und Serie inkl. Angebot von Lieferanten.		M	
6	Einschätzung Prototypenerprobung (wo sind Schwachstellen zu erwarten, wo muss genauer hingeschaut werden).		M	

## 2.2 Zielscheibe

Richtziel: Ein Umbauset für die Türantriebe der Standseilbahn St. Moritz - Chantarella ist konstruiert und ein Prototyp kann beschafft werden.

1. Es liegt eine schriftliche Projektdokumentation, als PDF-Datei bis am 04.11.2024 mit folgenden Inhalten vor:
  - 1.1. Eine Analyse des gegenwärtigen Fahrzeugs (Konstruktionsraum), im Umfang von mindestens drei A4-Seiten ist enthalten.
  - 1.2. Ein detaillierter Projektablaufplan inklusive Pufferzeit und 5 Meilenstein ist für die Diplomarbeit ausgearbeitet.
  - 1.3. Drei Lösungsvorschläge für ein mögliches Konzept des Türantriebes sind ausgearbeitet und mit jeweils mindestens einer A4-Seite beschrieben.
  - 1.4. Das ausgearbeitete Umbauset ist im Umfang von mindestens fünf A4-Seiten detailliert zu beschreiben.
2. Der Auftraggeber hat das Konzept überprüft und ein schriftliches Feedback von mindestens einer halben A4-Seite abgegeben.
3. Die Projektergebnisse sind in Form einer 15-minütigen Präsentation den Entscheidungsträgern vorgestellt.

CWA Constructions SA, Garaventa AG

### Endergebnisse

Kunde

### Sinn und Zweck

### Erfolgskriterien

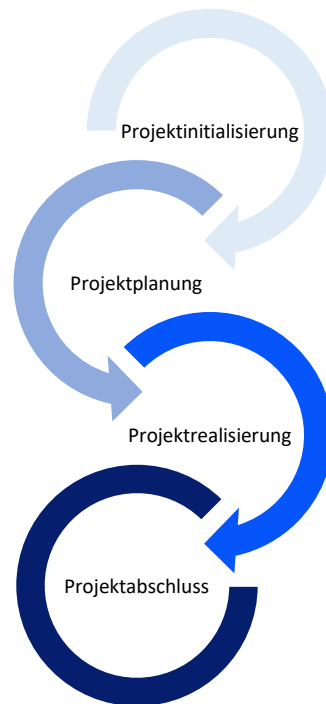
Die aus dem Prototypen resultierenden Erkenntnisse sollen zu einem reibungslosen Ablauf der Revision inklusive Türumbau führen.

1. Die Dokumentation entspricht den geforderten Richtlinien und ist ohne zeitlichen Verzug den Verantwortlichen abzugeben.
  - 1.1. Durch die Analyse erhält man eine klare Sicht auf den Konstruktionsraum und es müssen nachträglich keine Informationen eingeholt werden.
  - 1.2. Das Projekt kann ohne Zeitverzug zum gegebenen Zeitpunkt fertiggestellt werden.
  - 1.3. Die Varianten sind ohne Rückfragen verständlich.
  - 1.4. Die Beschreibung des Umbausets ist bis auf drei Rückfragen für den Arbeitgeber verständlich.
2. Aus dem Feedback des Fachexperten können, wenn notwendig Massnahmen zur Überarbeitung des Konzepts abgeleitet werden.
3. Das Konzept wird von den Zuhörern verstanden, so dass nur drei Verständnisfragen gestellt werden müssen.

### 3 Projektplanung

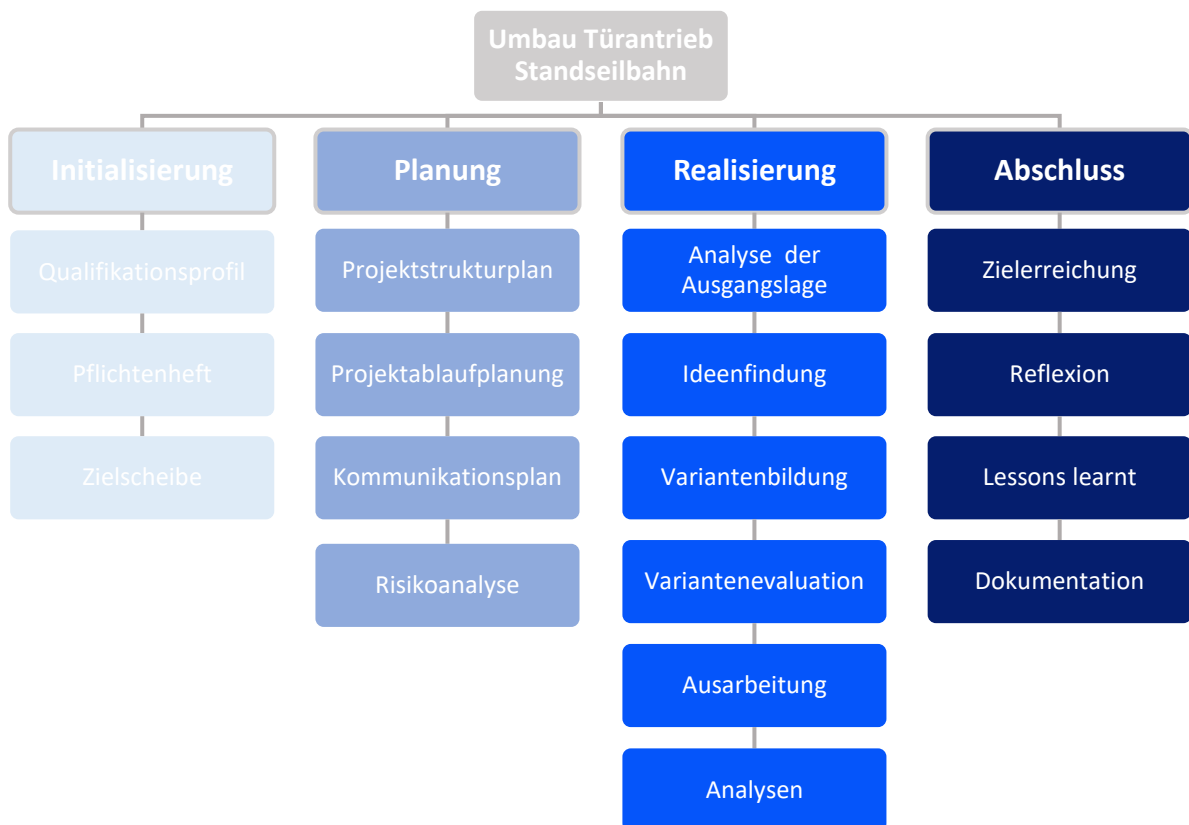
#### 3.1 Vorgehensmodell

Ich habe mich für das 4-Phasenmodell entschieden, da es hilft komplexe Prozesse in klar definierte Schritte zu unterteilen. Es bietet eine strukturierte Vorgehensweise, die Planung und Umsetzung erleichtert. Durch die Phasen kann man Ziele und Meilensteine festlegen und den Fortschritt effizient überwachen. Das Modell ermöglicht Flexibilität und Anpassung an spezifische Bedürfnisse.



#### 3.2 Projektstrukturplanung

Die folgende Abbildung zeigt einen Projektstrukturplan als Strukturbaum, welcher nach dem 4-Phasenmodell aufgebaut ist. Ich habe die Aufgaben zum Teil zusammengefasst, da eine noch genauere Planung nicht zielführend ist.



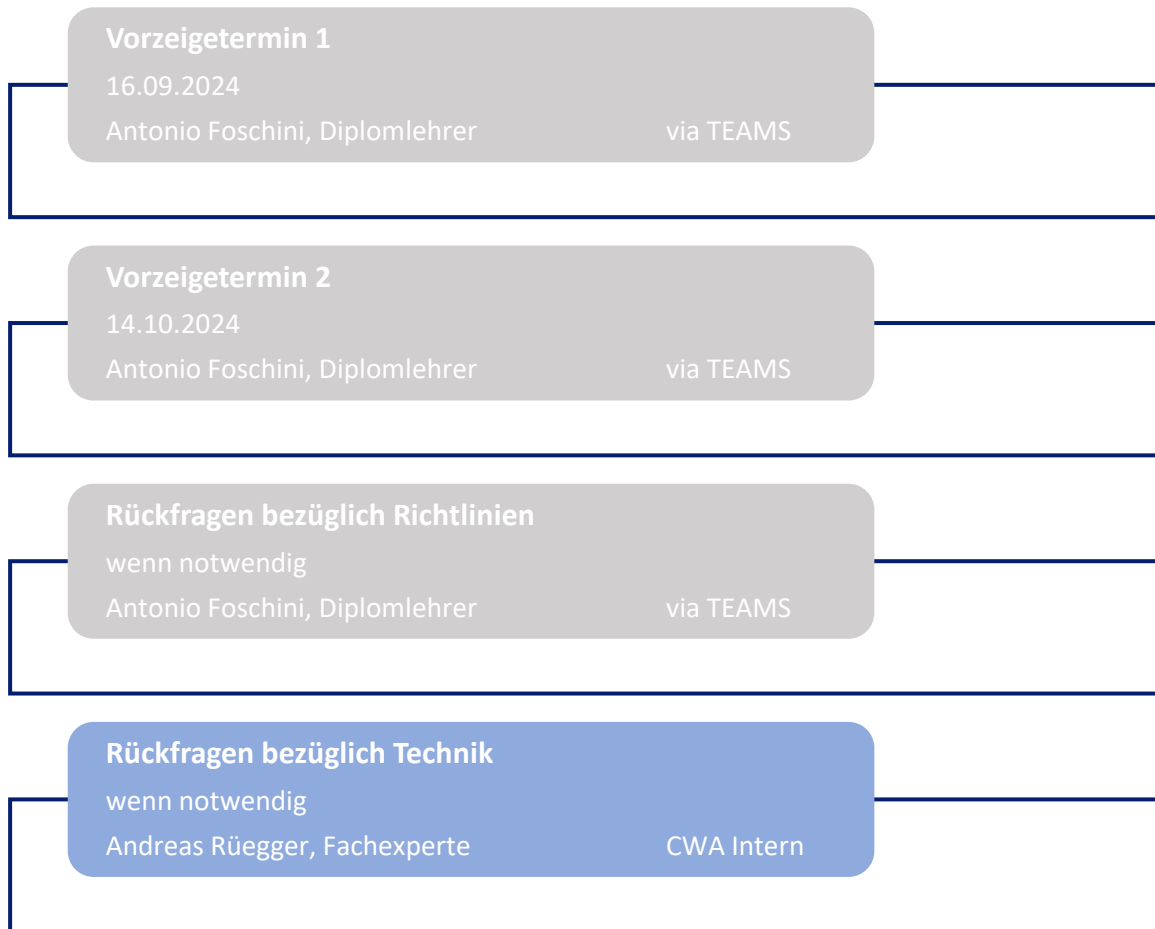
### 3.3 Zeitmanagement

Die Diplomarbeit sollte einen Arbeitsaufwand von 8 Wochen (entspricht ca. 240 Stunden) umfassen. In der Firma CWA Constructions SA wurde mir der gesamte Arbeitstag zur Verfügung gestellt.

<b>Initialisierung</b>	Total	12
Qualifikationsprofil		4
Pflichtenheft		4
Zielscheibe		4
<b>Planung</b>	Total	12
Projektstrukturplan		2
Projektablaufplanung		6
Kommunikationsplan		2
Risikoanalyse		2
<b>Realisierung</b>	Total	168
Analyse der Ausgangslage		40
Ideenfindung		24
Variantenbildung		24
Variantenevaluation		8
Ausarbeitung		64
Analysen		8
<b>Abschluss</b>	Total	48
Zielerreichung		8
Reflexion		4
Lessons learnt		4
Dokumentation		32
<b>Total</b>		<b>240 h</b>



### 3.5 Kommunikationsplanung



### 3.6 Risikoanalyse

Durch die Risikoanalyse werden mögliche Risiken gleich von Beginn an sichtbar gemacht und bewertet. Somit können mögliche negative Ereignisse, durch entsprechend definiert Massnahmen, reduziert oder vermieden werden.

Nr.	Risikobeschreibung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Auswirkung	Folgen
1	Zeitknappheit	Eher unwahrscheinlich	Abgabetermin kann nicht gehalten werden	schwer
2	Informationenbeschaffung	Eher unwahrscheinlich	Verzug im Projekt, da Informationen fehlen	Mässig
3	Tagesgeschäft	Wahrscheinlich	Kleinere Verzögerungen	Gering
4	Akzeptanz des Konzepts	Eher unwahrscheinlich	Überarbeitung des Konzepts führt zu grosser Verzögerung	Mässig
5	Datenverlust	Unwahrscheinlich	Neubeginn notwendig	Schwer
6	Krankheit / Unfall	Unwahrscheinlich	Grosse Verzögerung	Wesentlich

Je weiter oben auf der Diagonalen ein Risiko angesiedelt ist, desto mehr Beachtung muss dem entsprechenden Risiko geschenkt werden.

- Grüner Bereich:

*Kein Handlungsbedarf*

- Gelber Bereich:

*Risiko erfordert einen unmittelbaren Handlungsbedarf*

- Roter Bereich:

*Beeinflusst Projekt massiv und gefährdet Projektverlauf*

<b>Eintrittswahrscheinlichkeit</b>	Ziemlich sicher				
	Wahrscheinlich	<b>3</b>			
	Eher unwahrscheinlich		<b>2, 4</b>		<b>1</b>
	Unwahrscheinlich			<b>6</b>	<b>5</b>
		Gering	Mässig	Wesentlich	Schwer

**Folgen für das Projekt**

<b>Nr.</b>	<b>Risikobeschreibung</b>	<b>Massnahme</b>
1	Zeitknappheit	Fortschrittskontrolle durchführen und wenn nötig Überstunden
2	Informationen- beschaffung	Informationen rechtzeitig anfragen und einholen
3	Tagesgeschäft	An Randzeiten / Wochenende abarbeiten
4	Akzeptanz des Konzepts	Auftraggeber / Fachvorgesetzten regelmässig updaten
5	Datenverlust	Daten doppelt und regelmässig sichern
6	Krankheit / Unfall	Pufferzeit einplanen

Durch die Risikoanalyse ist zu erkennen, dass zwei Risiken im gelben Bereich sind. Diese müssen über das ganze Projekt im Auge behalten werden. Durch eine regelmässige Fortschrittskontrolle kann im Falle einer Zeitknappheit früh reagiert werden. Der Datenverlust kann mit stündlichem Speichern und einer Sicherheitskopie an einem zweiten Ort vermieden werden.

## 4 Projektrealisierung

### 4.1 Analyse der Ausgangslage

#### Allgemein

Auf Kundenanfrage und in Folge einer daraus resultierenden Bestellung wird für die Standseilbahn St. Moritz - Chantarella im Sommer 2026 eine umfassende Komplettrevision sowie ein umfangreicher Türumbau durchgeführt. Diese Massnahmen sind darauf ausgelegt, die Effizienz und Sicherheit der Bahn auf den neusten Stand der Technik zu modernisieren und den Kunden ein modernes Erlebnis zu bieten. Da der Türumbau jedoch in der Umsetzung sehr zeit- und kostenintensiv ist, wurde beschlossen vorgängig ein Prototyp zu entwickeln, der an einem von insgesamt 20 Türportalen getestet wird.

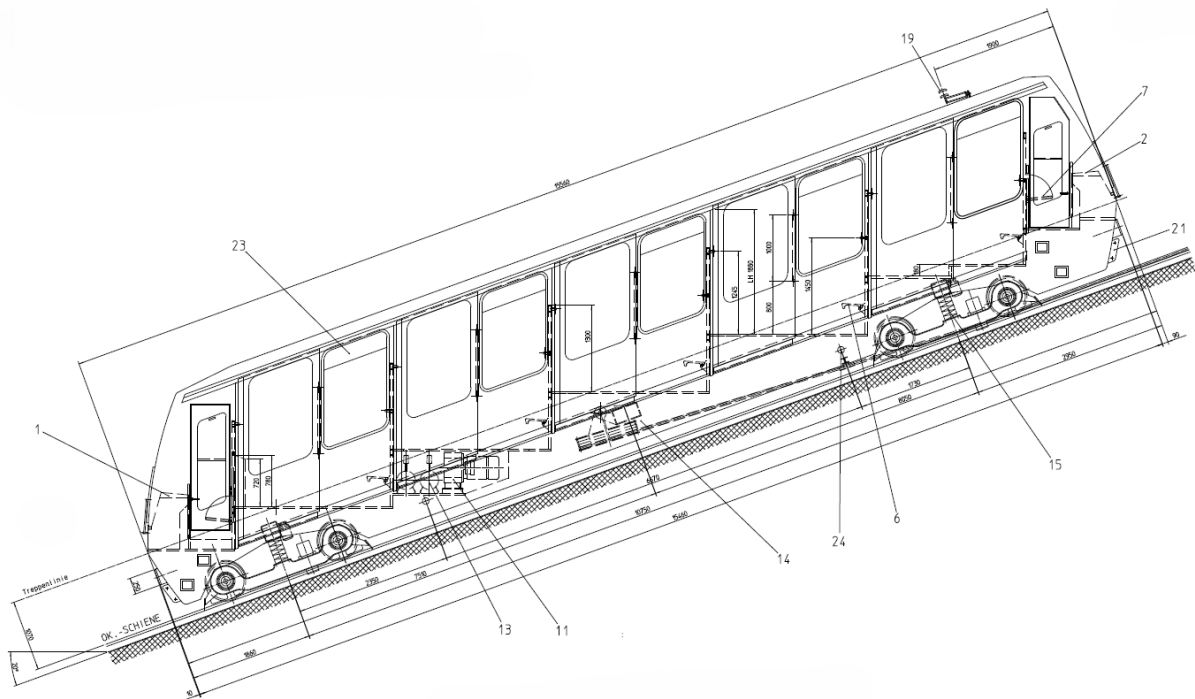


Abbildung 4: Ausschnitt der Projektzeichnung

Die Standseilbahn wurde im Jahr 1993 geplant und im Jahr 1994 erbaut. Alle Zeichnungen, Stücklisten, Datenblätter, Berechnungen und Notizen sind physisch in drei verschiedenen Aktenordnern im Archiv vorhanden. Diese wurden gründlich untersucht und an wichtigen Stellen mit einem Post-it versehen. In einem nächsten Schritt wurden alle wichtigen Informationen zusammengetragen, so dass diese direkt auffindbar sind. Diejenigen Bauteile und Zeichnungen die wichtig für den Türantrieb erschienen, wurden digitalisiert oder im CAD neu erstellt. Hierbei wurden die vorhandenen 2D-Zeichnungen und die Fotos miteinander abgeglichen und anschliessend die Teile in 3D rekonstruiert. So konnte ein Teilausschnitt der Standseilbahn im CAD-System konstruiert werden, bei dem der Konstruktionsraum für den neuen Türantrieb sehr genau rekonstruiert wurde.

## Teilausschnitt

Der Teilausschnitt umfasst ein komplettes Abteil. Aus den vorhandenen Aktenordnern wurden die Zeichnungen herausgesucht, die für den Teilausschnitt relevant sind. Mithilfe eines weiteren Aktenordner der detaillierte Querschnittszeichnungen der Profile von den Lieferanten beinhaltet, wurden dann die Teile neu im CAD konstruiert und zu einer Baugruppe zusammengestellt.



Abbildung 5: Teilausschnitt im CAD

## Verschiedene Neigungswinkel

Die Standseilbahn hat eine Neigung von  $20^\circ$ . Die Trasseeneigung der Talstation hingegen beträgt  $16.7^\circ$  und die der Bergstation  $21.4^\circ$ . Die Neigung wird in einem späteren Zeitpunkt wichtig, um die Hangabtriebskraft zu bestimmen. Dieser Unterschied ist kleiner als 5% und somit so gering, dass dieser vernachlässigt werden kann und wir bei Berechnungen immer von  $20^\circ$  ausgehen können.

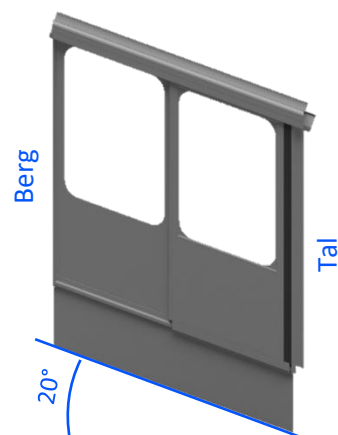


Abbildung 6: Seitenansicht

## Innenraum

Im inneren des Fahrzeugs ist lediglich der sogenannte Dachseitenkanal für die Passagiere sichtbar. Der Dachseitenkanal ist je Türportal dreiteilig und besteht aus jeweils zwei fix montierten äusseren und einer mittleren Abdeckung, wobei die mittlere mittels eines Scharniers geöffnet werden kann.

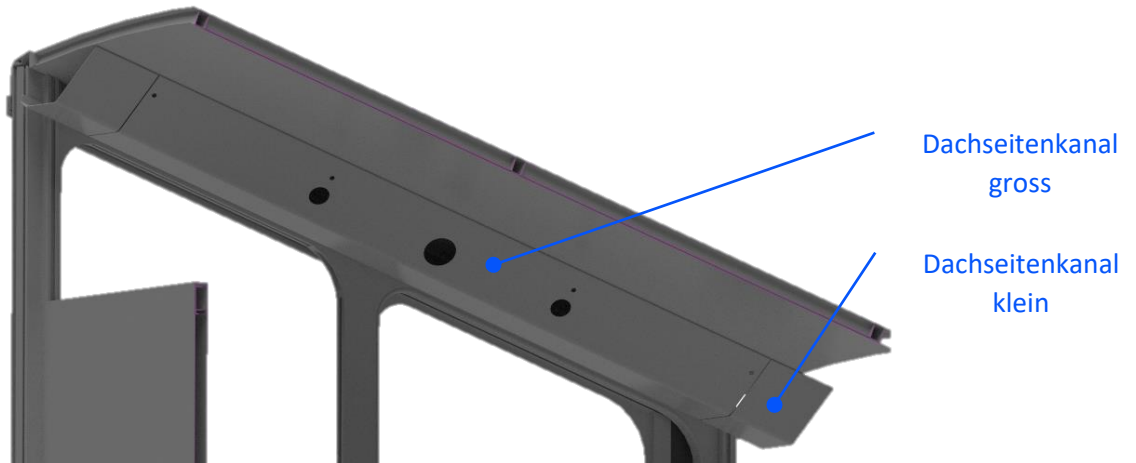


Abbildung 7: Dachseitenkanal

Nach entfernen des Dachseitenkanals ist die Struktur des Fahrzeugs sichtbar. Hierdurch werden die Befestigungspunkten, an welchen die jetzigen Komponenten befestigt sind, ersichtlich. Hier sind Grundplatten aus Aluminium mittels Schrauben an der Struktur befestigt worden. An diesen Grundplatten wurden Blechwinkel montiert, an denen auf der Bergseite der pneumatik Zylinder befestigt ist und auf Talseite der Anschlag der Kolbenstange. Auf der Bergseite wird ebenfalls der Endschalter mittels vier Schrauben montiert. Ausserdem ist die Aussparung für den Mitnehmer zu sehen.

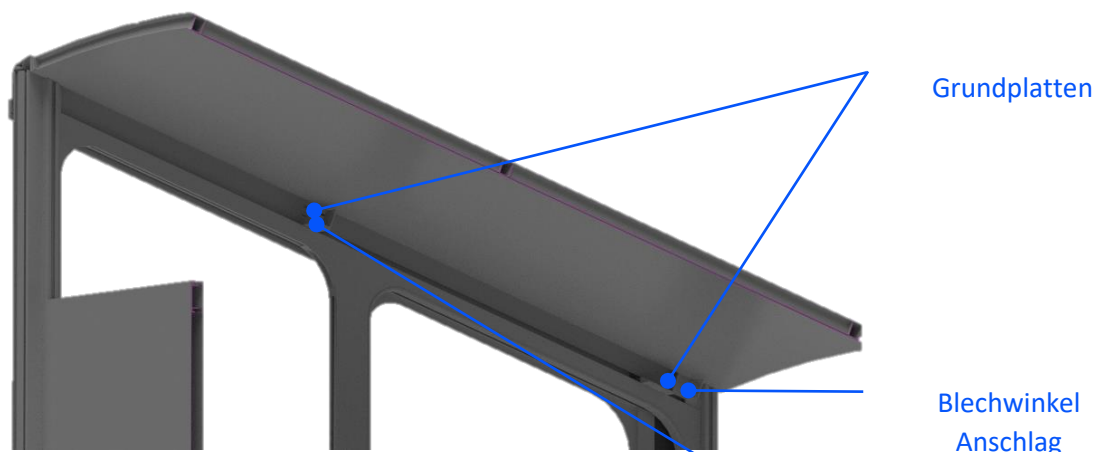


Abbildung 8: Struktur ohne Dachseitenkanal

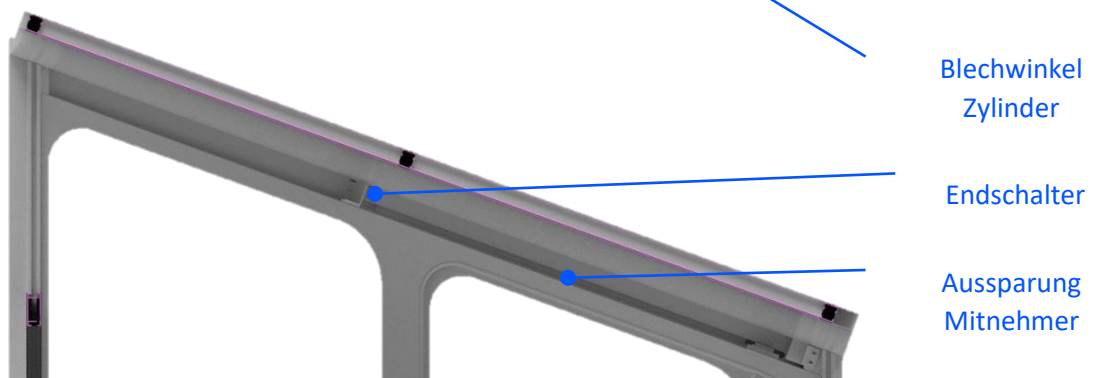


Abbildung 9: Struktur mit Befestigungspunkten

Für eine bessere Übersichtlichkeit des ganzen Mechanismus sind in den folgenden Abbildungen die jeweiligen Details dargestellt. Es ist zu sehen, wie die Schiebetüre geführt ist und wie der Hub des Zylinders auf diese übertragen wird. Der Hub für die Schiebetüre ist 1100mm. Ebenfalls ist zu sehen, an welcher Position der Endschalter genau liegt. Die wichtigsten Komponenten für den Türantrieb sind unten mit Namen gekennzeichnet. Der pneumatische Türantrieb ist pro Einheit 15Kg.

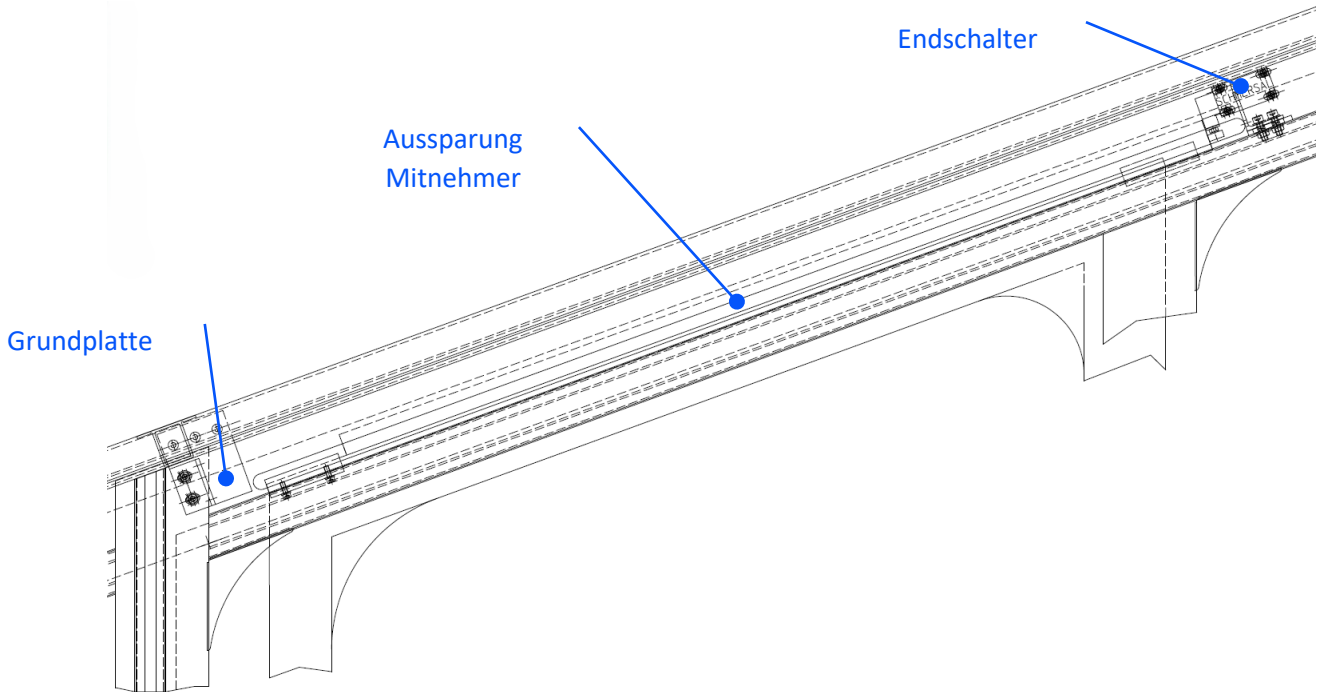


Abbildung 10: Skizze Türmechanismus

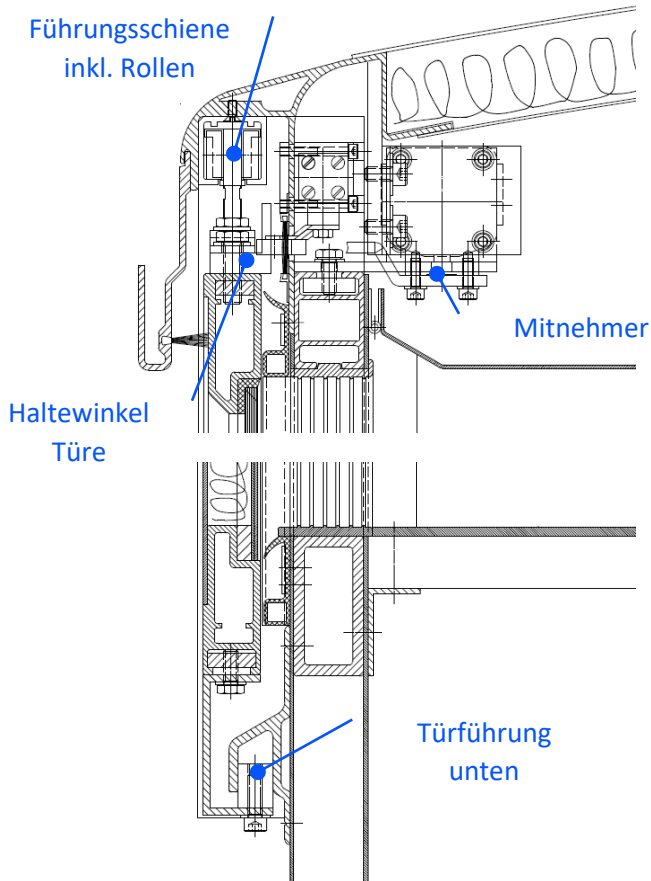


Abbildung 11: Türschnitt vertikal



Abbildung 14: Stand heute inkl. Zylinder

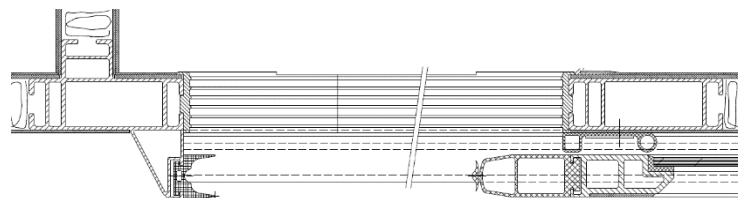


Abbildung 13: Türschnitt offen horizontal

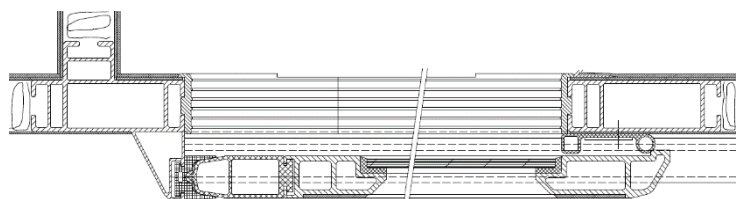


Abbildung 12: Türschnitt geschlossen horizontal

Um den Türantrieb von pneumatisch auf elektrisch umzubauen, muss geklärt werden wieviel Platz im Dachseitenkanal zur Verfügung steht. Der Platz für die Konstruktion misst in der Länge 2350mm, in der Höhe 175mm und in der Tiefe 385mm. In der Höhe und in der Tiefe verändert sich der Wert noch Aufgrund der Geometrie des Dachseitenkanals. Ausserdem sind mögliche Befestigungsmöglichkeiten gekennzeichnet.

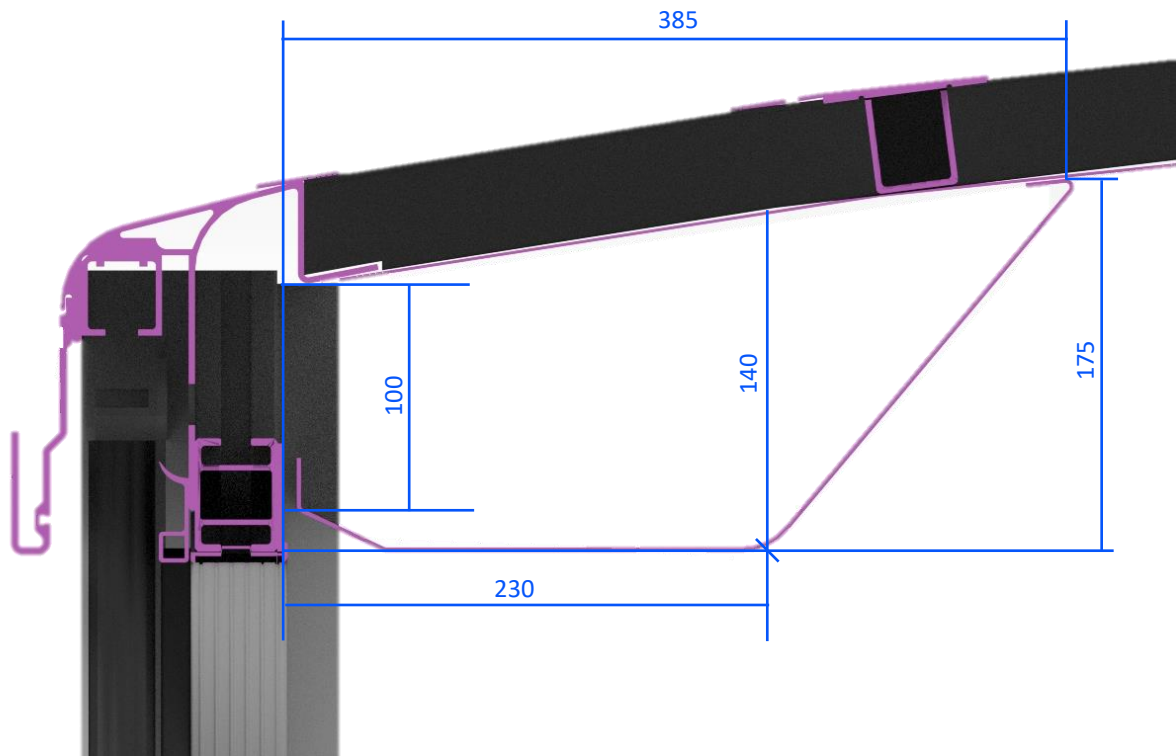


Abbildung 15: Dachseitenkanal Konstruktionsraum

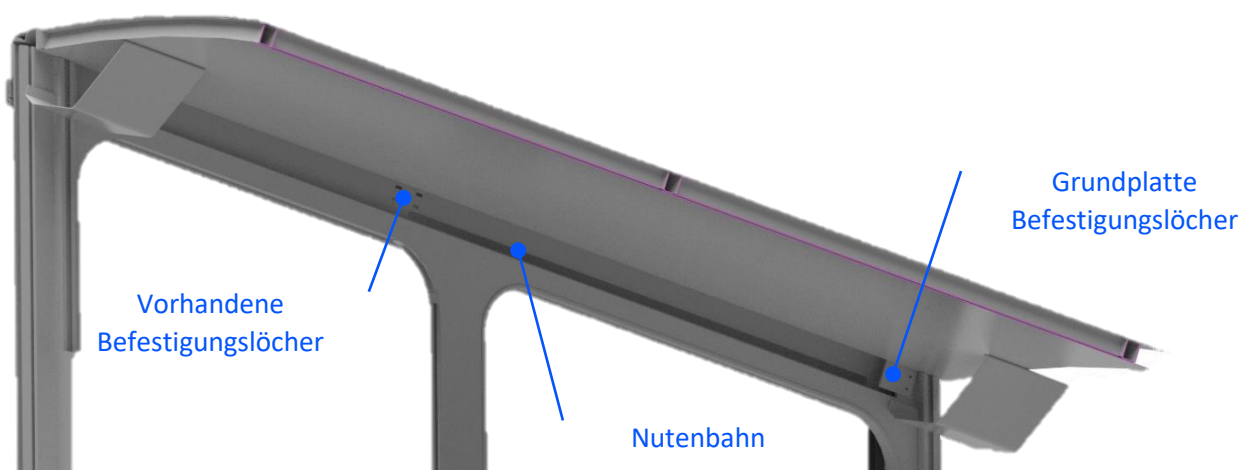


Abbildung 16: Mögliche Befestigungsmöglichkeiten an der Struktur

## Schiebetüre

Die Schiebetüre ist der Teil, von dem alles abhängig ist am Türantrieb. Somit ist auf diese Komponente grosses Augenmerk zu legen. Die Türe besteht aus fünf verschiedenen Aluminiumprofilen und zwei Blechtafeln. An der Türe selbst sind verschiedene Komponenten befestigt, die dafür sorgen, dass die Türe Öffnen und Schliessen kann und dabei geführt ist. Unten ist ein U-Profil als Führung montiert. Oben ist ein Haltewinkel montiert der einerseits als Befestigungsmöglichkeit für den Mitnehmer dient und andererseits als Betätigung für den Endschalter. Ausserdem sind zwei Tragbügel auf dem Haltewinkel befestigt für die Rollen, die in der Führungsschiene bewegt werden. Die Türe hat ein Gesamtgewicht von 62Kg. Diese wird vom Zylinder bewegt, der mit bis zu 10 Bar betrieben werden kann. Der Systemdruck des Türantriebs liegt theoretisch bei 7.5 Bar, aus Erfahrung ist dieser höher, da im Betrieb manchmal durch Schnee oder andere Umgebungseinflüsse die Öffnungs- und Schliesskräfte höher sind.

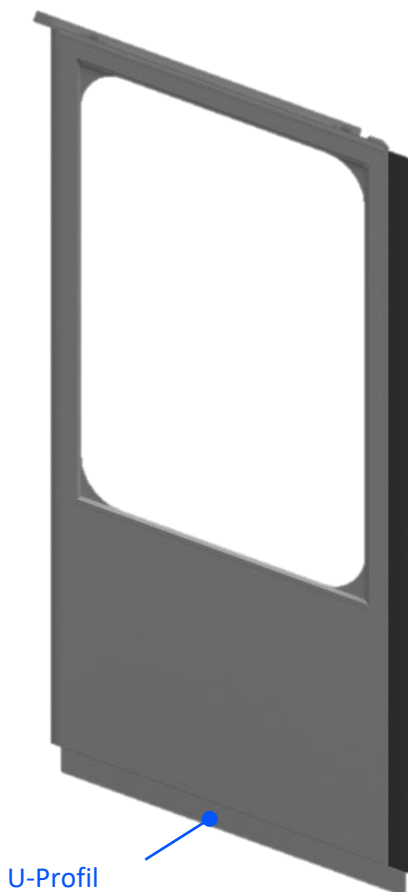


Abbildung 17: Schiebetüre von aussen

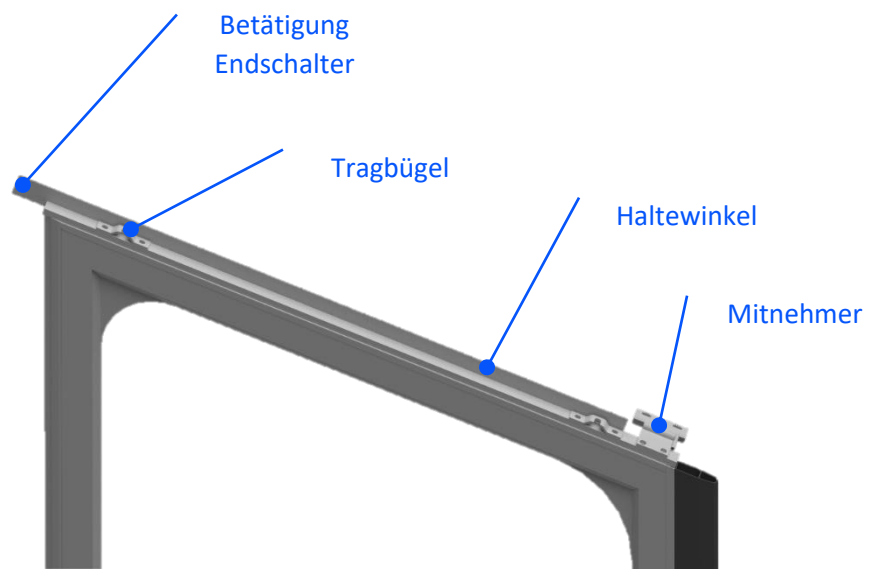


Abbildung 18: Führungstechnik der Schiebetüre

## Sicherheitskomponenten

Der bestehende Türantrieb verfügt bereits über zwei verschiedene Sicherheitsvorkehrungen. Damit die Passagiere oder einzelne Gliedmassen beim Schliessvorgang nicht eingeklemmt oder im schlimmsten Fall abgetrennt werden, ist in der Türdichtung ein Kontaktstreifen. Dieser gibt ein Signal an den pneumatik Zylinder, um die Türe wieder an die «offen» Position zurückzufahren, wenn die Kraft in der Türdichtung 150N überschreitet. Sobald die Türe zurückgefahren ist und in der «offen» Position ist, versucht sie wieder zu schliessen. So wird sichergestellt das nichts eingeklemmt wird und niemand zu Schaden kommt. Wenn es zu Störungen oder einer Notfallsituation kommt, ist im inneren des Fahrzeug ein Schalter, um die Pneumatik auszuschalten. Wenn dieser betätigt wird, wird der Systemdruck entleert und die Türe kann von Hand geöffnet werden.

Der neue Türantrieb muss den Seilbahnrichtlinien (EU) 2016/424 entsprechen. Ebenfalls müssen die Einklemmkräfte gem. EN 13796-1 und die Anforderungsklasse «AK3» eingehalten werden. Die Norm der Einklemmkräfte besagt, dass die Kraft kleiner als 150N sein muss. Die Anforderungsklasse «AK3» beinhaltet, dass elektrische Sicherheitseinrichtungen so gestaltet werden müssen, dass ein einzelner Fehler in einer dieser Einrichtungen nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktionen führt. Das Auftreten eines zweiten Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion zwischen den Prüfungsabständen führen.

Sicherheitskomponenten wie die Verriegelung, die Sensoren/Endschalter und die Notentriegelung werden nicht mit in die Variantenbildung einbezogen. Grund dafür ist, dass je nach Lieferant oder Seilbahnsteuerungshersteller andere Vorgaben gemacht werden. Dieses Thema wird erst in der Ausarbeitung berücksichtigt.

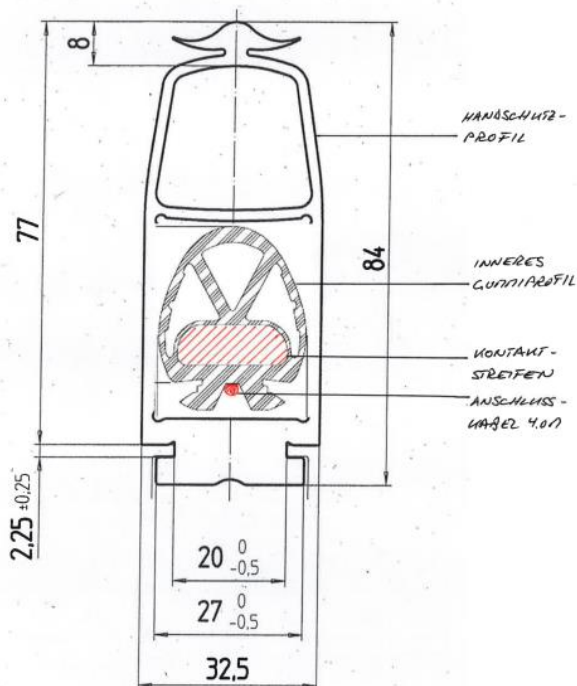


Abbildung 19: Skizze der Türdichtung aus dem Aktenordner



Abbildung 20: Not-Türöffnung

## Berechnungen

Da es sich bei der oberen Führung um eine Rollreibung handelt, wird diese so klein ausfallen, dass diese vernachlässigt werden kann. Die untere Türführung wirkt nur seitlich, da die Gewichtskraft der Schiebetüre über die Rollen in der oberen Führung aufgenommen werden. In der Theorie wirken keine Querkräfte auf die Schiebetüre, somit kann die Haft- und Gleitreibung zwischen Aluminium und Kunststoff vernachlässigt werden.

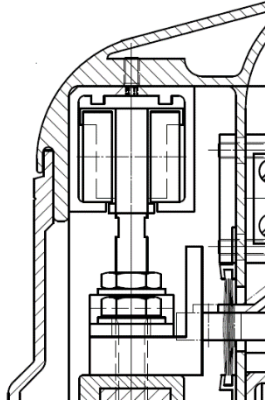


Abbildung 22: Führung oben

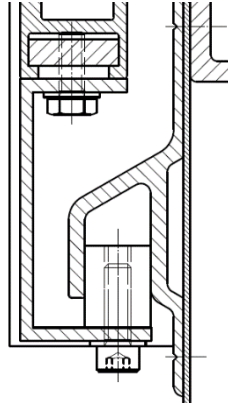
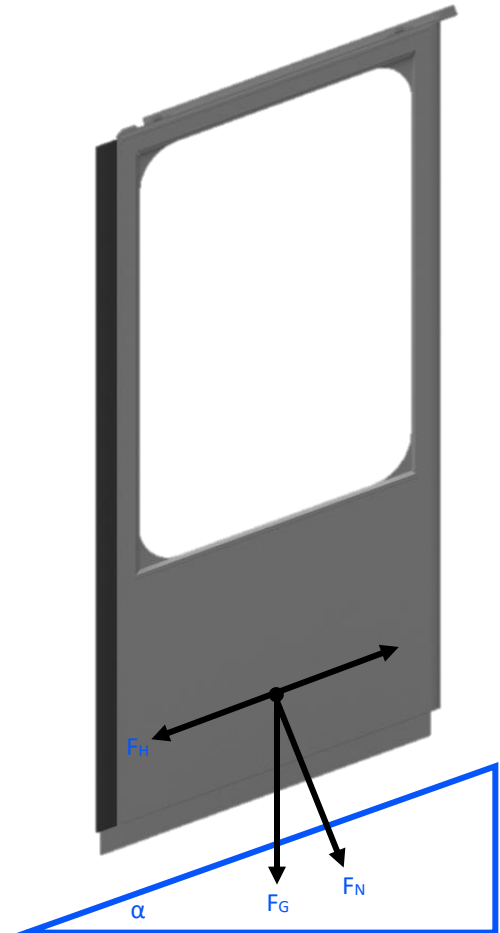


Abbildung 21: Führung unten



$$F_G = m \times g = 62 \text{Kg} \times 9.81 \text{m/s}^2 = 608.2 \text{N}$$

$$F_N = F_G \times \cos \alpha = 608.22 \text{N} \times \cos 20^\circ = 571.5 \text{N}$$

$$F_H = F_G \times \sin \alpha = 608.22 \text{N} \times \sin 20^\circ = 208 \text{N}$$

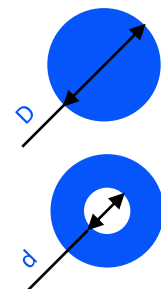
Der pneumatik Zylinder von Bosch wurde so eingebaut, dass er bergseitig neben der Schiebetüre liegt. Der Zylinder ist bei offener Türe eingefahren. Beim Ausfahren der Kolbenstange kann mehr Kraft übertragen werden als beim Einfahren. Diese Einbaulage wurde extra so gewählt, da am Ende der Kolbenstange ein Blech als Mitnehmer befestigt ist und so die Wahrscheinlichkeit der Knickung höher ist als sonst. Der Systemdruck liegt laut den Akten bei 7.5 Bar, wobei der maximal mögliche Druck bei 10 Bar liegt. Für künftige Berechnungen wird vom höheren Wert ausgegangen.

$$F_{OPEN\ 7.5} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times \rho = \frac{\pi \times 50 \text{mm}^2}{4} \times 0.75 \text{N/mm}^2 = 1472.6 \text{N}$$

$$F_{CLOSE\ 7.5} = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times \rho = \frac{\pi}{4} \times (50 \text{mm}^2 - 20 \text{mm}^2) \times 0.75 \text{N/mm}^2 = 1237 \text{N}$$

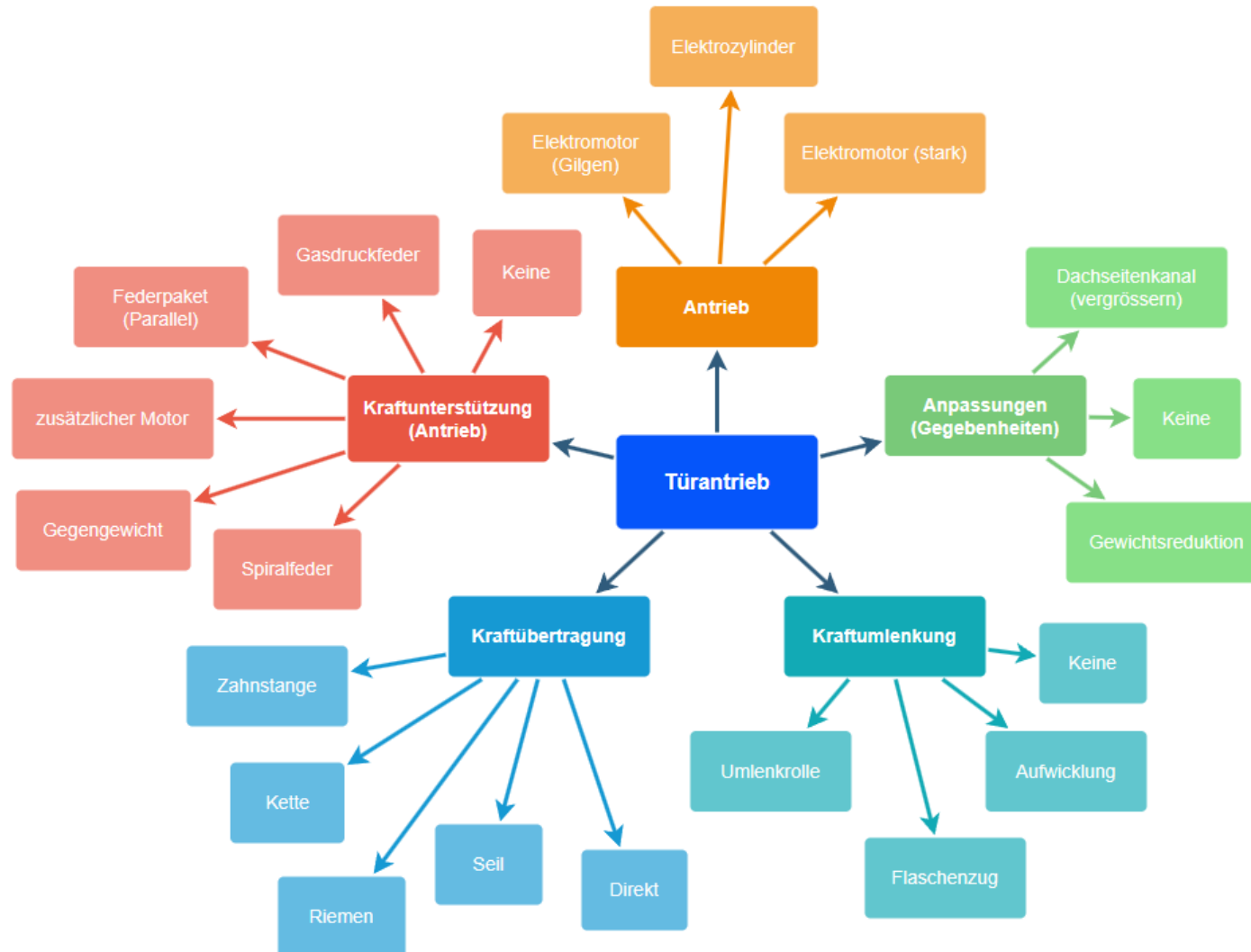
$$F_{CLOSE\ 10} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times \rho = \frac{\pi \times 50 \text{mm}^2}{4} \times 1 \text{N/mm}^2 = 1963.5 \text{N}$$

$$F_{CLOSE\ 10} = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times \rho = \frac{\pi}{4} \times (50 \text{mm}^2 - 20 \text{mm}^2) \times 1 \text{N/mm}^2 = 1649.3 \text{N}$$










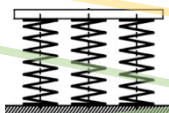







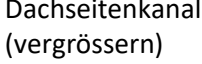
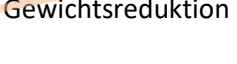
## 4.2 Brainstorming

Das Brainstorming wurde mit Andreas Rügger (Projektleiter Technik), Thomas Schmid (Projektleiter Technik) und Patrick Mugglin (Entwicklungsingenieur) durchgeführt. Inhaltlich wurde der Fokus beim Brainstorming auf bereits bewährte Technologien und bewährtes innerhalb der Firma gelegt. Die Ideen und Inputs wurden mittels einem Mind-Map in Teilfunktionen abstrahiert und festgehalten.



### 4.3 Morphologischer Kasten

Im Morphologischen Kasten werden die gesammelten Ideen und Inputs aus dem Mind-Map visualisiert und anschliessend werden die Teilfunktionen zu verschiedenen Lösungskonzepten zusammengefügt.

<b>Antrieb</b>	Elektromotor (Gilgen) 	Elektromotor (stark) 	Elektrozylinder 			
<b>Kraftunterstützung (Antrieb)</b>	Zusätzlicher Motor 	Gegengewicht 	Spiralfeder 	Gasdruckfeder 	Federpack 	Keine
<b>Kraftübertragung</b>	Zahnstange 	Kette 	Seil 	Riemen 	Direkt	
<b>Kraftumlenkung</b>	Umlenkrolle 	Flaschenzug 	Aufwicklung 	Keine		
<b>Anpassungen (Gegebenheiten)</b>	Dachseitenkanal (vergrössern) 	Gewichtsreduktion 	Keine			

Variante 1 ●

Variante 2 ●

Variante 3 ●

## 4.4 Variantenbildung

### 4.4.1 Kurzbeschreibung der Variante «E-Zylinder»

#### Vorteile:

- Die Konstruktion hat wenige Einzelteile
- Das Konstruktionsprinzip ist simpel
- Die Montage der Konstruktion ist simpel
- Die Positioniergenauigkeit des Elektrozyylinder ist hoch
- Die komplette Lösung ist wartungsarm und gut zugänglich

#### Nachteile:

- Der Elektrozyylinder ist temperaturempfindlich hinsichtlich Reibungswiderstand
- Leistungsstarke Elektrozyylinder bringen hohe Kosten mit sich
- Die Lösung wird eine niedrige Verfahrgeschwindigkeit haben
- Die Kraft eines Elektrozyylinder mit dieser Baugrösse ist begrenzt
- Bei einer Störung oder eines Defekts ist die Türe blockiert und die Fahrgäste sind eingesperrt
- Die CWA hat nur wenig Erfahrungen mit Elektrozyylinder
- Die Steuerung muss durch die CWA entwickelt werden
- Die Störungsbehebung muss durch die CWA erfolgen

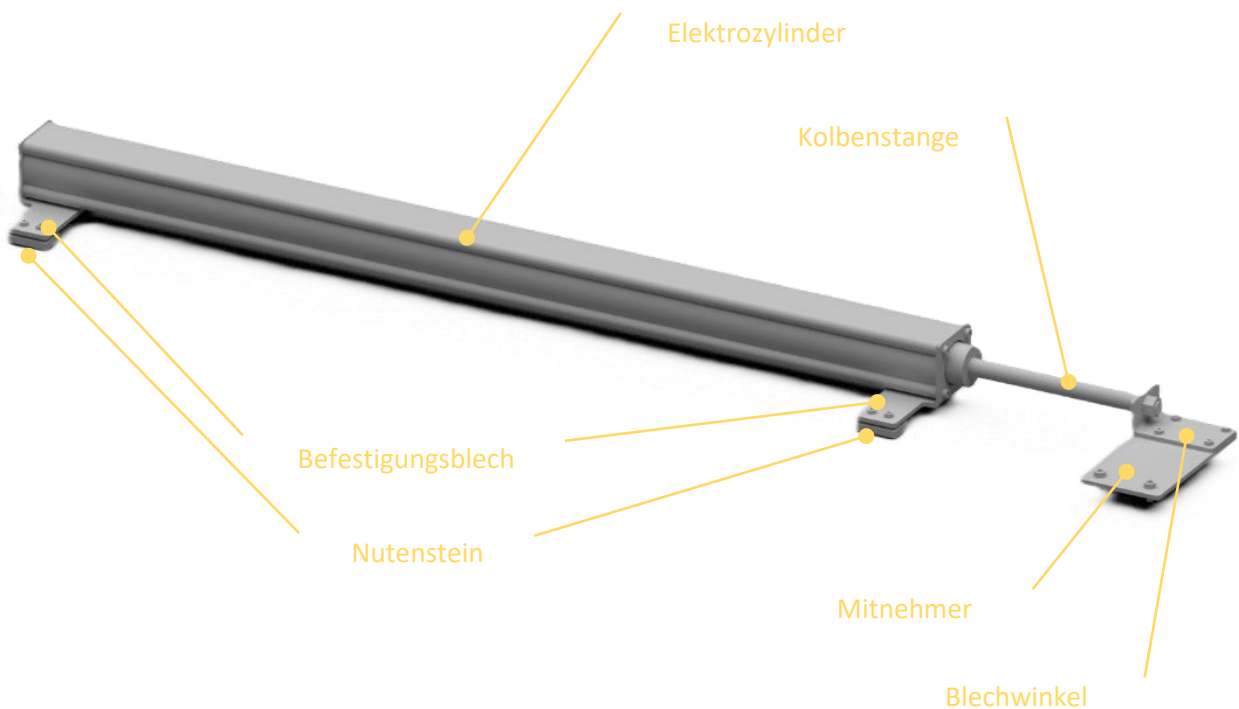


Abbildung 23: CAD-Modell der Variante 1

## Kurzbeschreibung

Die erste Variante hat den grossen Vorteil, dass sie nur wenige Komponenten beinhaltet und die Montage simpel ist. Es muss lediglich die vorhandenen Pneumatikeinheit entfernt werden und die dazugehörigen Schläuche und Ventile. Die untere und obere Führung inkl. den Tragbügeln auf der Türe können übernommen werden. Am Dachseitenkanal oder dem Innendach selbst sind keine Anpassungen notwendig. Der grosse Nachteil an dieser Variante liegt im Elektrozyylinder selbst. Dieser funktioniert mit einer Gewindespindel im inneren des Zylinders, die die Drehbewegung des Motors in eine lineare Bewegung umsetzt. Die Gewindespindel weist oft eine kleine Steigung auf, so dass durch die Reibung eine Selbsthemmung entsteht und die Kolbenstange nicht zurückgleitet. Dies hat zur Folge, dass die Verfahrgeschwindigkeit eher niedrig ist. Bei einem Ausfall des Systems durch eine Störung oder den Umgebungstemperaturen ist die Türe blockiert und kann nicht von Hand geöffnet werden. Dafür müsste die Verbindung zwischen Kolbenstange und Blechwinkel getrennt werden, was in einem Notfall nicht zumutbar ist.

## Funktion

Die neue Konstruktion besteht aus einem Elektrozyylinder, der an der bestehenden Struktur mit zwei Befestigungsblechen und den dazugehörigen Nutensteinen angeschraubt wird. An der Kolbenstange des Elektrozyinders ist ein Blechwinkel montiert, der den Hub der Kolbenstange auf den Mitnehmer überträgt. Der Mitnehmer ist direkt mit der Türe verschraubt. Der Elektrozyylinder verfügt über Positioniersensoren die die aktuelle Position der Kolbenstange detektiert. So wird sichergestellt, dass die Offen- und Geschlossenposition genau definiert sind. Der Einklemmschutz kann wie bisher über einen Kontaktstreifen gewährleistet werden.

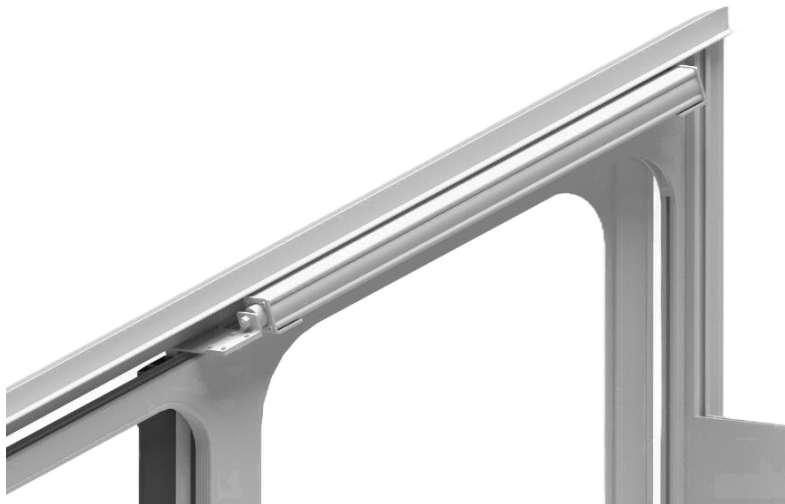


Abbildung 24: Detail der Konstruktion im CAD

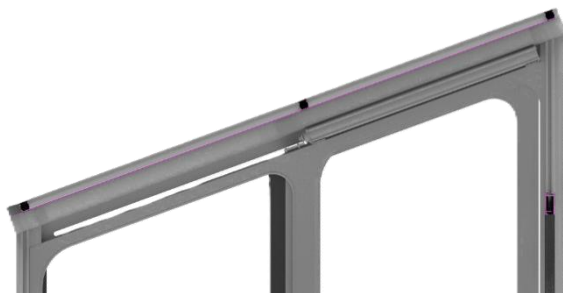


Abbildung 26: Türe geöffnet



Abbildung 25: Türe geschlossen

#### 4.4.2 Kurzbeschreibung der Variante «Gegengewicht»

##### Vorteile:

- Die komplette Konstruktion ist wartungsarm und gut zugänglich
- Die Verfahrgeschwindigkeit kann eingestellt werden
- Die CWA hat viel Erfahrung mit den Gilgen Elektromotoren
- Die CWA hat bereits Erfahrung mit Gegengewichten
- Der Leistungsbedarf ist gering aufgrund des Gegengewicht
- Die Steuerung ist bereits vorhanden bei Gilgen
- Optional können optische oder akustische Signalgeber eingebaut werden
- Die Komponenten der Variante sind Temperaturresistent

##### Nachteile:

- Die Montage der Konstruktion ist aufwendig
- Das Konstruktionsprinzip ist komplex
- Durch den nicht vorhandenen Platzbedarf muss im Innendach eine Anpassung stattfinden
- Durch das Gegengewicht wird es zu einem Mehrgewicht kommen

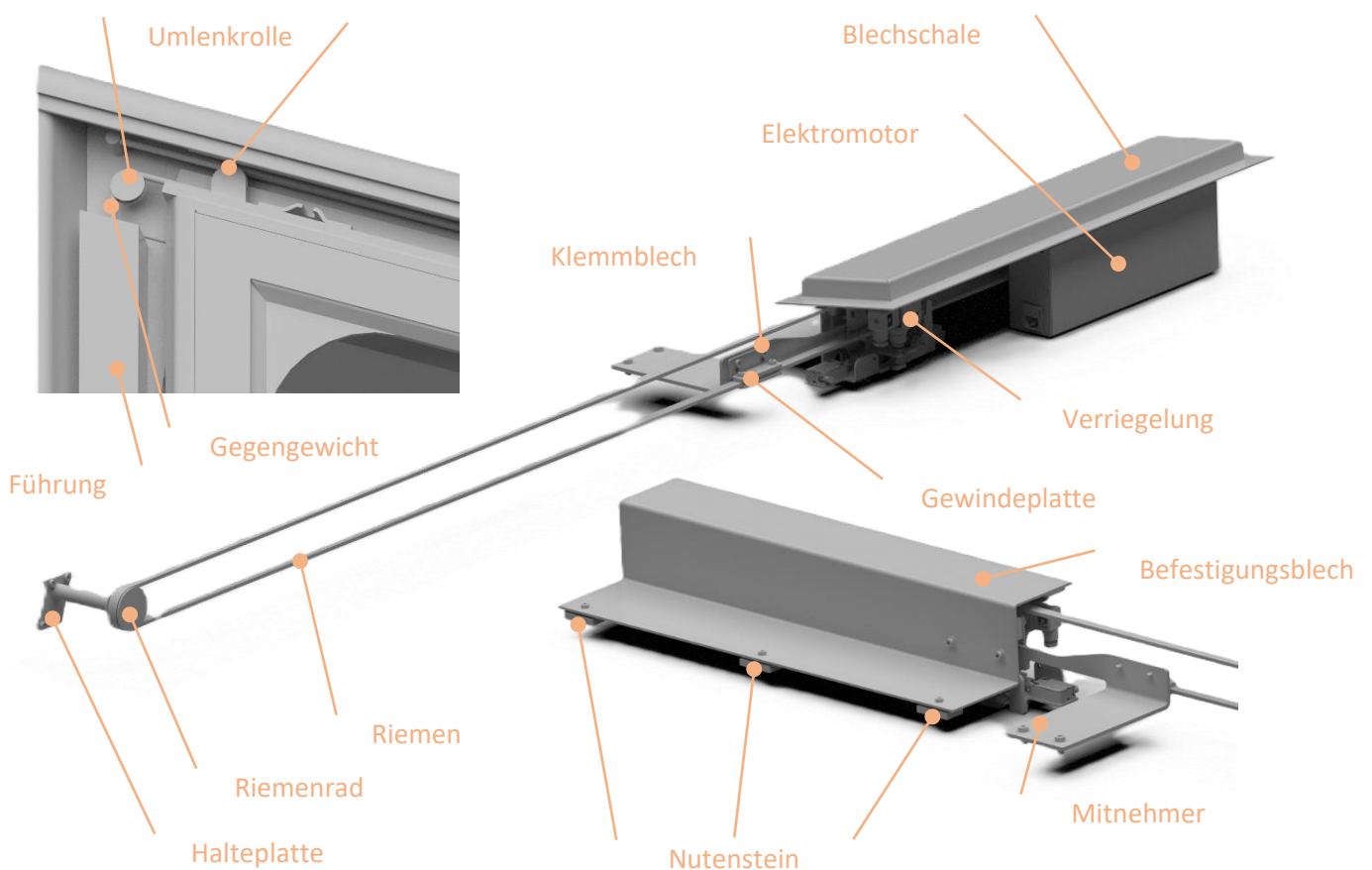


Abbildung 27: CAD-Modell der Variante 2

## Kurzbeschreibung

Die zweite Variante hat den Vorteil, dass ein ähnliches Prinzip der Konstruktion bereits bei einem Konkurrenzprodukt im Einsatz ist. Die CWA setzt schon seit vielen Jahren auf die Gilgen Elektromotoren und diese haben sich bewährt. Um die Konstruktion zu montieren, muss die gesamte bestehende Antriebseinheit entfernt werden. Dazu gehört auch die obere Türführung und die Tragbügel auf der Türe. Diese Komponenten werden ebenfalls durch Gilgen-Produkte ersetzt. Der Nachteil an dieser Variante ist der Umbauaufwand. Das Innendach muss ausgenommen werden, so dass die Komponenten Platz im Dachseitenkanal haben. Ausserdem wird am äusseren der Kabine eine Führung für das Gegengewicht montiert.

## Funktion

Die neue Konstruktion besteht aus einem Gilgen Türantrieb, der an der bestehenden Struktur mit einem Befestigungsblech und den dazugehörigen Nutensteinen angeschraubt wird. Um diese Komponenten montieren zu können, muss das Innendach ausgenommen werden. Mit einer Blechschale wird der Konstruktionsraum vergrössert und das Innendach wieder verschlossen. Die Kraft wird vom

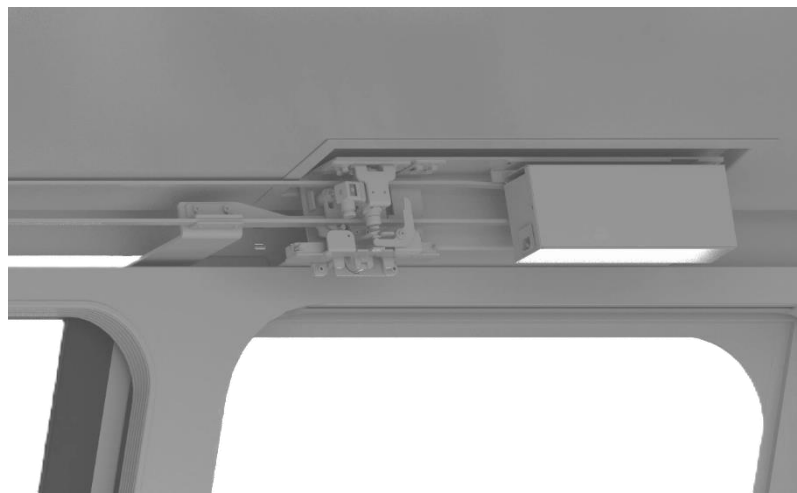


Abbildung 28: Detail der Konstruktion im CAD

Motor über ein Riemenrad auf den Riemen übertragen, der auf der anderen Seite durch eine Halteplatte und einem zweiten Riemenrad an der Struktur befestigt ist. Am Riemen ist der Mitnehmer mittels dem Klemmblech und der Gewindeplatte befestigt. Auf der anderen Seite wird der Mitnehmer an der Türe befestigt. Auf der Aussenseite des Fahrzeugs wird eine Führung für das Gegengewicht montiert. Das Gegengewicht wird über einen Flaschenzug durch die Rollen an der Struktur und der Türe umgeleitet. So kann erreicht werden, dass der Motor eine reduzierte, aber konstante Kraft benötigt, um die Türe zu öffnen oder zu schliessen. Die Einklemmkraft wird über die Stromaufnahme des Elektromotors eingestellt.

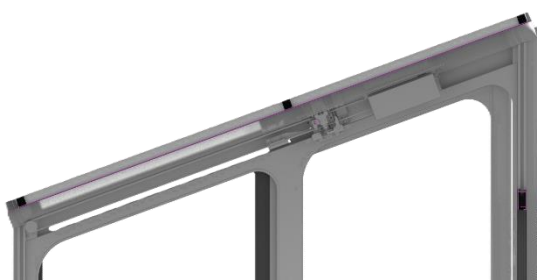


Abbildung 30: Türe geöffnet

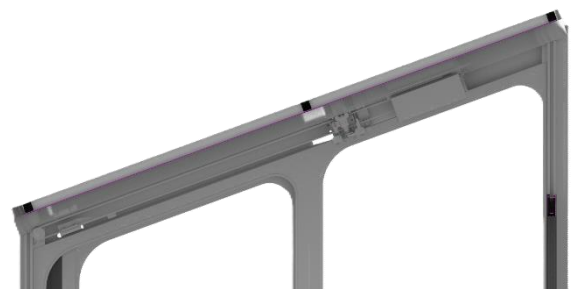


Abbildung 29: Türe geschlossen

#### 4.4.3 Kurzbeschreibung der Variante «E-Motor»

##### Vorteile:

- Die Montage der Konstruktion ist simpel
- Das Konstruktionsprinzip ist simpel
- Die komplette Konstruktion ist gut zugänglich
- Die Verfahrgeschwindigkeit kann eingestellt werden

##### Nachteile:

- Der Kettentrieb ist wartungsintensiv
- Die Lösung ist nicht verschleissarm
- Der starke Elektromotor braucht viel Strom
- Um die Positioniergenauigkeit zu gewährleisten sind zusätzliche Sensoren notwendig
- Bei einer Störung oder eines Defekts ist die Türe blockiert und die Fahrgäste sind eingesperrt
- Die Steuerung muss durch die CWA entwickelt werden
- Die Störungsbehebung muss durch die CWA erfolgen

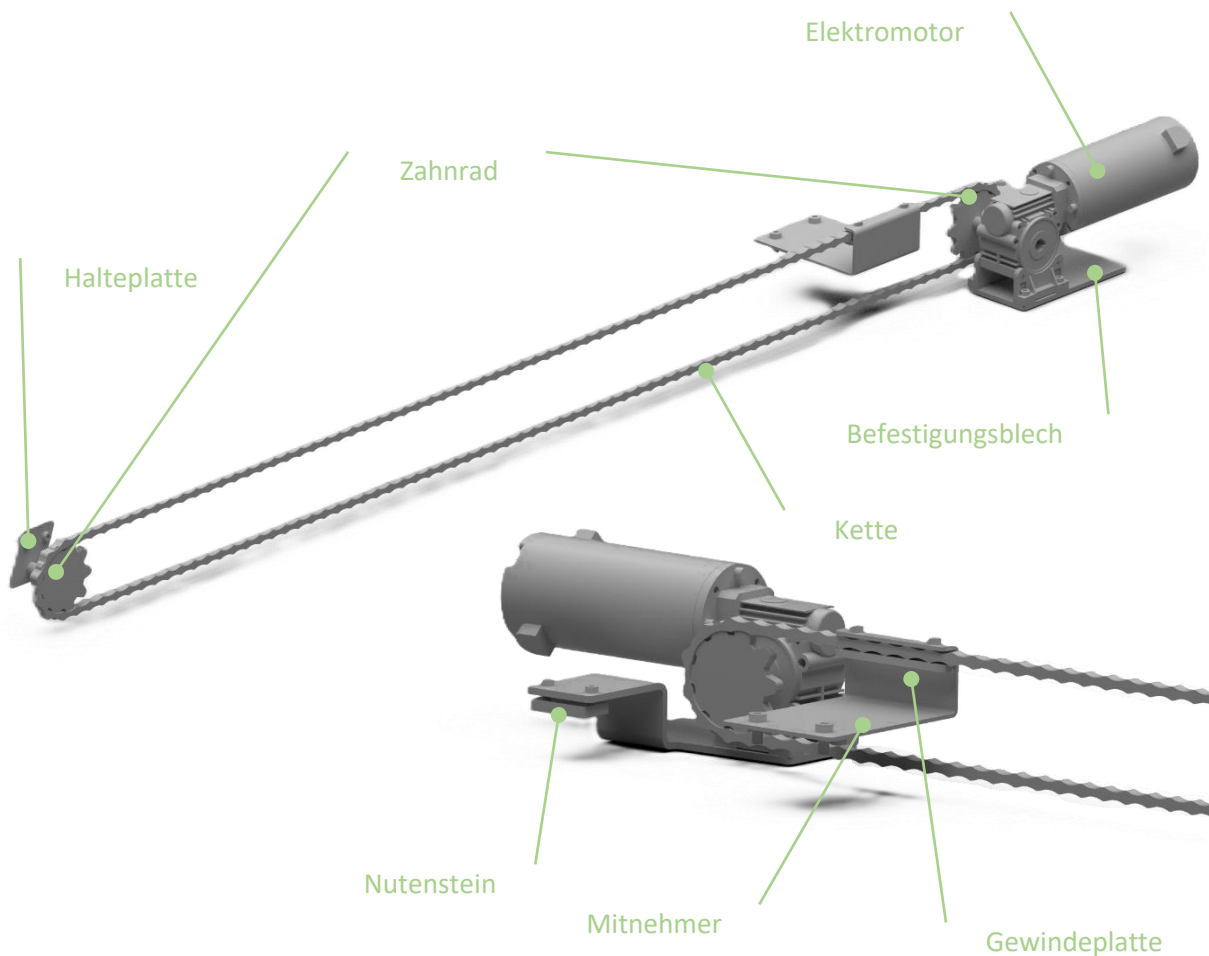


Abbildung 31: CAD-Modell der Variante 3

## Kurzbeschreibung

Die dritte Variante hat den Vorteil, dass die Konstruktion und die Montage simpel sind. Der Kettentrieb ist ein Konstruktionsprinzip, das man auch bei anderen Türantrieben findet. Um die Konstruktion zu montieren, muss nur die vorhandene Pneumatikeinheit und die dazugehörigen Schläuche und Ventile entfernt werden. Die untere und obere Führung inkl. den Tragbügeln auf der Türe können auch hier ebenfalls übernommen werden. Am Dachseitenkanal oder dem Innendach sind auch hier keine Anpassungen notwendig. Der Nachteil an dieser Variante liegt am starken Elektromotor und dem Kettentrieb. Der Elektromotor muss in diesem Fall besonders leistungsstark sein, damit die Türe öffnen kann. Dies kann zu erhöhtem Strombedarf führen, der nicht gedeckt werden kann mit den vorhandenen Batterien im Fahrzeug. Um die Türe wieder zu schließen ist nur noch ein Bruchteil der Leistung notwendig. Der Kettentrieb ist zwar durch den Dachseitenkanal geschützt, aber es kann trotzdem zu Verschmutzungen kommen und dies führt zu kürzeren Wartungsintervallen.

## Funktion

Die neue Konstruktion besteht aus einem Elektromotor, der an der bestehenden Struktur mit einem Befestigungsblech und dem dazugehörigen Nutenstein angeschraubt wird. Die Kraft vom Motor wird mittels einer Welle und einer Passfeder an das Zahnrad übertragen. Dieses treibt dann die Kette an, die mit einem zweiten Zahnrad gespannt wird. Das zweite Zahnrad wird mit der Halteplatte durch das Langloch an der Struktur befestigt. An der Kette wird der Mitnehmer mittels



Abbildung 32: Detail der Konstruktion im CAD

der Gewindeplatte montiert. Auf der anderen Seite wird der Mitnehmer an der Türe befestigt. Um die Offen- und Geschlossenposition zu definieren, muss durch den Seilbahnsteuerungshersteller ein Sensor vorgegeben werden. Dieser würde dann anschließend in die Konstruktion implementiert werden.

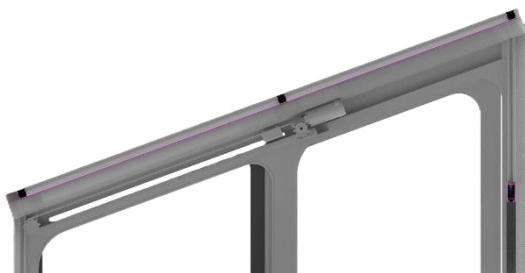


Abbildung 34: Türe geöffnet

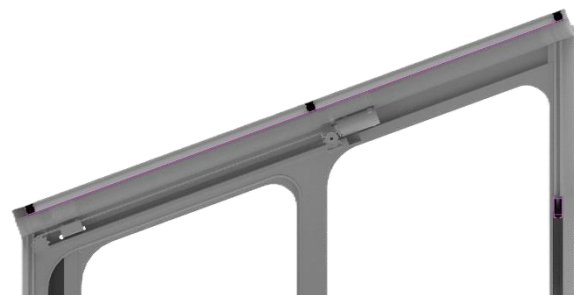


Abbildung 33: Türe geschlossen

## 4.5 Evaluation der geeignetsten Variante

Die Nutzwertanalyse ermöglicht eine systematische Bewertung von Alternativen anhand festgelegter Kriterien, was die Entscheidungsfindung transparenter macht. Sie fördert eine objektive Vergleichbarkeit, indem qualitative und quantitative Aspekte gewichtet werden. Zudem hilft sie, alle relevanten Faktoren zu berücksichtigen, wodurch bessere und fundierte Entscheidungen getroffen werden können.

Die Kriterien sind angelehnt an das Pflichtenheft und beinhalten technische sowie wirtschaftliche Merkmale. Sie wurden so ausgewählt, um sicherzustellen, dass alle wichtigen Aspekte für die Entscheidung berücksichtigt werden.

### Umbauaufwand

Die Konstruktion soll so ausgelegt werden, dass der Umbau des Türantriebs nicht unnötig viel Zeit in Anspruch nimmt und keine speziellen Werkzeuge benötigt werden.

### Herstellung

Die Herstellung der neuen Komponenten soll grösstenteils intern in der CWA erfolgen. So kann die Fertigung optimal ausgelastet werden und auch die Kosten gesenkt werden. Der Antrieb und die Normteile sowie das Rohmaterial werden zugekauft.

### Gewicht

Das Gewicht der neuen Lösung kann Einfluss auf die zu transportierenden Personenmenge haben. Somit sollte das Gewicht niedrig sein aber die Konstruktion doch stabil.

### Kosten

Die Kosten sind möglichst niedrig zu halten, da der Prototyp und der gesamte Umbau dem Kunden bereits offeriert wurden.

### Lebensdauer

Die Konstruktion sowie die verbauten Elemente sollen verschleissarm und einfach zu ersetzen sein. Diese sollen die gleiche Lebensdauer wie das gesamte Fahrzeug haben.

### Ausfallsicherheit

Die verbauten Komponenten müssen so ausgewählt werden, dass der Betrieb auch bei extremen Wetterbedingungen oder anderen Umgebungseinflüssen zuverlässig funktioniert.

### Wartungsfreundlichkeit

Der Türantrieb muss bei einer Störung oder einem Ausfall schnell wieder betriebsbereit sein. Die Wartung muss einfach sein, so dass die Arbeiten vom Bahnbetreiber oder einem externen Dienstleister ausgeführt werden kann.

### 4.5.1 Präferenzmatrix

In der vorliegenden Präferenzmatrix wurden die definierten Kriterien einander gegenübergestellt und so deren Gewichtungswert ermittelt.

als wichtiger	Umbauaufwand	Herstellung	Gewicht	Kosten	Lebensdauer	Ausfallsicherheit	Wartungsfreundlichkeit	Summe	%
Umbauaufwand		1	0	0	1	0	0	2	10%
Herstellung	0		0	1	0	0	0	1	5%
Gewicht	1	1		1	0	0	0	3	14%
Kosten	1	0	0		0	0	0	1	5%
Lebensdauer	0	1	1	1		0	1	4	19%
Ausfallsicherheit	1	1	1	1	1		1	6	28%
Wartungsfreundlichkeit	1	1	1	1	0	0		4	19%
								<b>Prüfsumme</b>	<b>100%</b>

### 4.5.2 Nutzwertanalyse

In der Nutzwertanalyse werden die drei Varianten einander gegenübergestellt. Durch die Multiplikation der Gewichtung mit der Bewertung ergibt sich ein Zahlenwert, der im Optimalfall 10 ist.

	Gewichtung	E-Zylinder		Gegengewicht		E-Motor	
		Bewertung	Wert	Bewertung	wert	Bewertung	Wert
<b>Umbauaufwand</b>	<b>10%</b>	9	0.86	3	0.29	9	0.76
<b>Herstellung</b>	<b>5%</b>	9	0.43	7	0.33	9	0.43
<b>Gewicht</b>	<b>14%</b>	7	1.00	5	0.71	7	1.00
<b>Kosten</b>	<b>5%</b>	3	0.19	7	0.33	8	0.38
<b>Lebensdauer</b>	<b>19%</b>	7	1.33	9	1.71	6	1.14
<b>Ausfallsicherheit</b>	<b>28%</b>	3	0.84	10	2.80	5	1.68
<b>Wartungsfreundlichkeit</b>	<b>19%</b>	7	1.33	9	1.71	6	1.14
	<b>Summe</b>	<b>5.98</b>		<b>7.90</b>		<b>6.54</b>	

**Bewertungszahl von 0 - 10**

Bewertungszahl 0  
Erfüllt das Kriterium nicht

Bewertungszahl 10  
Erfüllt das Kriterium vollständig

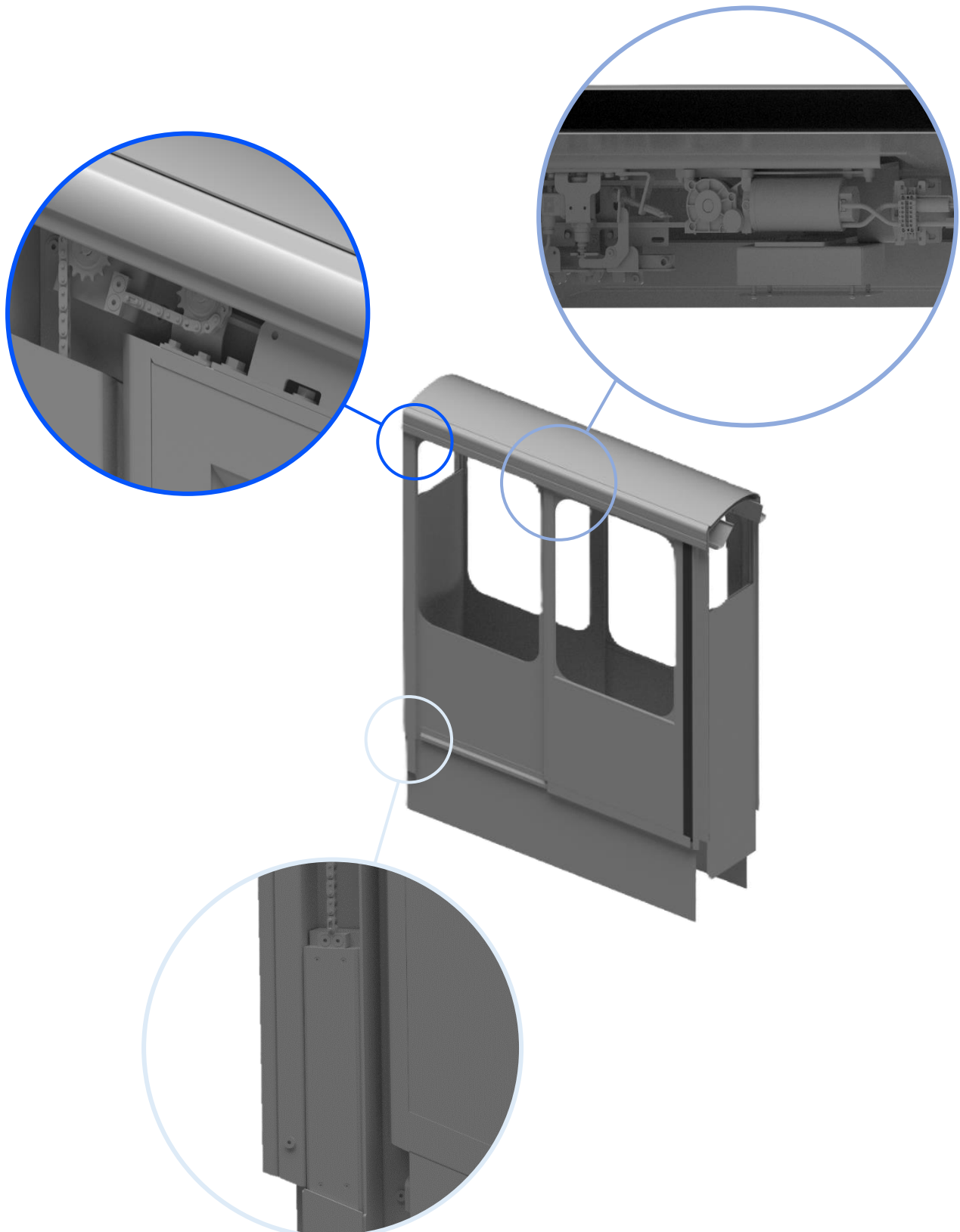
### 4.5.3 Resultat der Variantenevaluation

Die Variante «Gegengewicht» schneidet zwar in den Kriterien Umbauaufwand, Herstellung und Gewicht am schlechtesten ab aber überzeugt in der Lebensdauer, Ausfallsicherheit und Wartungsfreundlichkeit. Der Umbauaufwand ist zwar hoch, aber dieser wird in der CWA durchgeführt und somit stellen wir sicher das dieser mit bester Qualität erfolgt. Die Entwicklung der Steuerung entfällt mit diese Variante komplett und es kann auf eine bereits bestehende Steuerung von Gilgen zurückgegriffen werden. So sind die beiden Themengebiete beim jeweiligen Fachspezialisten. Das zusätzliche Gewicht sollte nicht ausschlaggebend sein, da die vorhandenen Pneumatikbehälter ebenfalls ausgebaut werden. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass die verbauten Gilgen-Komponenten eine sehr hohe Lebensdauer haben. Ausserdem kann der Bahnbetreiber bei Gilgen einen Wartungsvertrag abschliessen, der internationale Störungsbehebungen umfasst. Durch dieses Angebot können auch die Ressourcen unserer Servicetechniker geschont und die Störungsbehebung vereinfacht werden.

Das Entscheidungsmeeting wurde mit Andreas Rügger und Diego Graf am 07.10.2024 durchgeführt. Diese wurde im Sitzungsprotokoll 03 dokumentiert. Am Entscheidungsmeeting wurde zusammen entschieden das die zweite Variante «Gegengewicht» weiterverfolgt wird. Diese Variante schnitt in der Nutzwertanalyse am besten ab. Die beiden anderen Varianten wurden wegen zu niedrigen Erfahrungswerten der Technologie als zu riskant eingestuft.

## 5 Ausarbeitung der Variante «Gegengewicht»

Der Umbau des Türantriebs kann in fünf verschiedene Bereiche eingeteilt werden. Auf die Bereiche Anpassung der Gegebenheiten, Türantrieb, Türführung, Gegengewicht und Notverriegelung wird in den nachfolgenden Seiten tiefer darauf eingegangen. Der grösste Teil der Ausarbeitung ist die Konstruktion im 3D abzubilden und die dazugehörigen Fertigungsunterlagen zu erstellen.



## 5.1 Anpassungen der Gegebenheiten

Beim Türantriebsumbau müssen zwei Änderungen am bestehenden Fahrzeug vorgenommen werden. Im Dachseitenkanal muss ein Teil des Innendachs ausgenommen werden, so dass die Verriegelung des Türantriebs genügend Platz findet. In die Aussparung wird eine Blechwanne geklebt, so dass das Innendach wieder geschlossen ist und die Verriegelung im zusätzlich gewonnenen Konstruktionsraum untergebracht werden kann. An der Aussenseite muss ein Teil der Türführung unten entfernt werden, damit die Führung des Gegengewichts montiert werden kann.

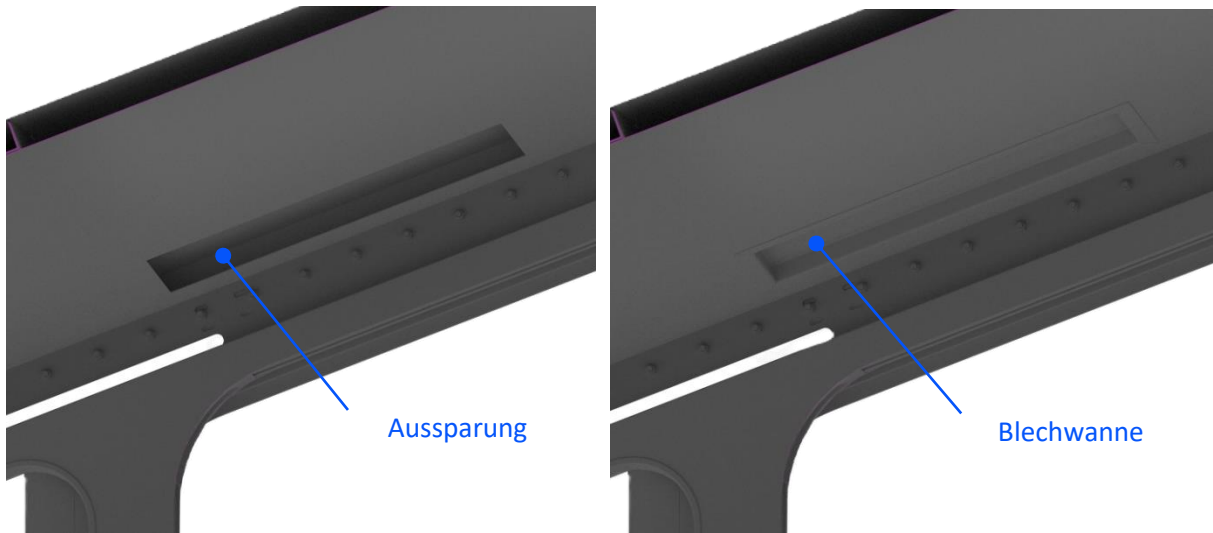


Abbildung 35: Anpassung am Innendach Detail

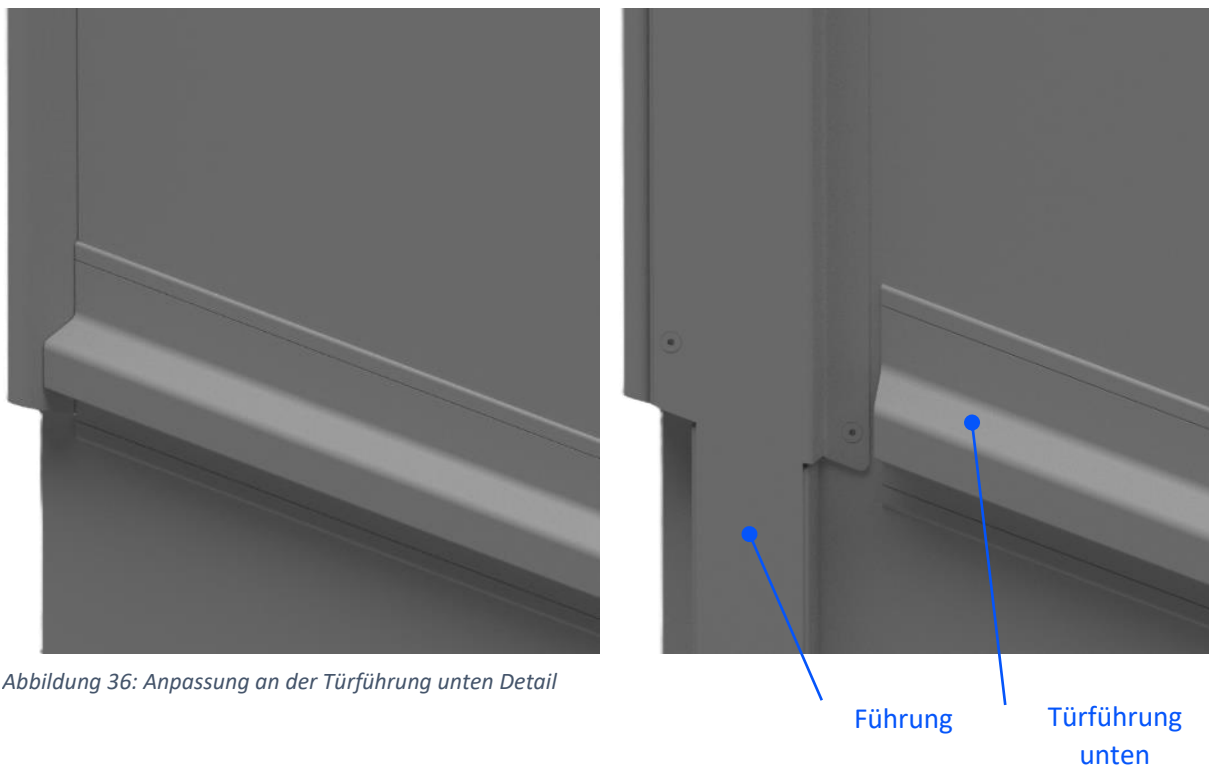


Abbildung 36: Anpassung an der Türführung unten Detail

## 5.2 Türantrieb

Der Türantrieb ist eine Komplettlösung von Gilgen Door Systems AG. Die Hauptkomponenten Verriegelung, Elektromotor und Steuerung werden bereits auf dem von der CWA konstruierten aber bei Gilgen gefertigten Halter vormontiert angeliefert. Die Verriegelung und der Elektromotor werden am Halter angeschraubt. Die Steuerung und die dazugehörigen Klemmen der Elektrokomponenten, werden an der Hutschiene montiert. Die anderen Komponenten werden lose angeliefert und in der CWA mit der beigelegten Montageanleitung montiert. Ausserdem wird die in Kapitel 4.1 erwähnte Kontaktleiste im Türgummi für den Einklemmschutz wieder an der neuen Steuerung angeschlossen. Das Schema des Türantriebs wird durch Gilgen erstellt, sobald sie eine Bestellung erhalten. Das Einstellen des Türantriebs und die dazugehörige Einklemmkraftmessung wird ebenfalls von Gilgen durchgeführt.

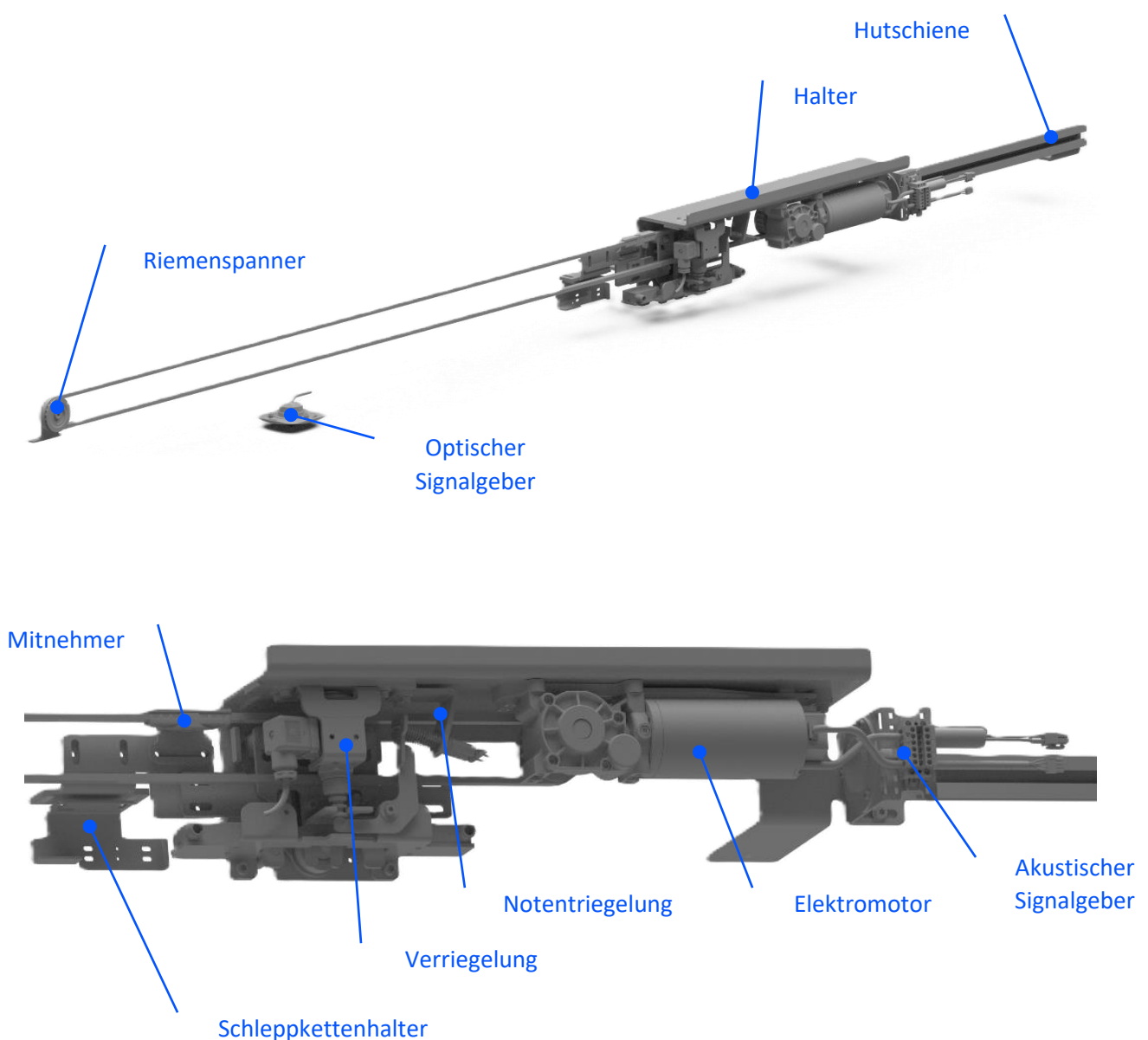


Abbildung 37: 3D-Modell des Gilgen Türantrieb

### 5.3 Türführung

Die Türführung besteht wie bisher aus einer Führungsschiene, zwei Rollenläufer und zwei Haltewinkeln. Die alte Führungsschiene wird entfernt und die neue seitlich an die Struktur geschraubt. In dieser Führungsschiene verfahren zwei Rollenläufer, an denen je ein Haltewinkel montiert ist. Zwischen den Haltewinkel und den Rollenläufer wird jeweils noch ein Sicherungsblech montiert, das nach dem Justieren der Türblätter durchbohrt und befestigt wird. Dieses verhindert, dass sich die Türe nach dem Einstellen durch ihr hohes Eigengewicht weiter absenkt. Die Haltewinkel werden mit einer M10 Schraube mit der bestehenden Türe verschraubt. Die beiden Haltewinkel unterscheiden sich darin, dass am vorderen noch ein Mitnehmer angeschweisst ist, der die Türe mit dem Riemen des Türantriebs verbindet. So kann die Türe ihren Hub von 1100mm verfahren.

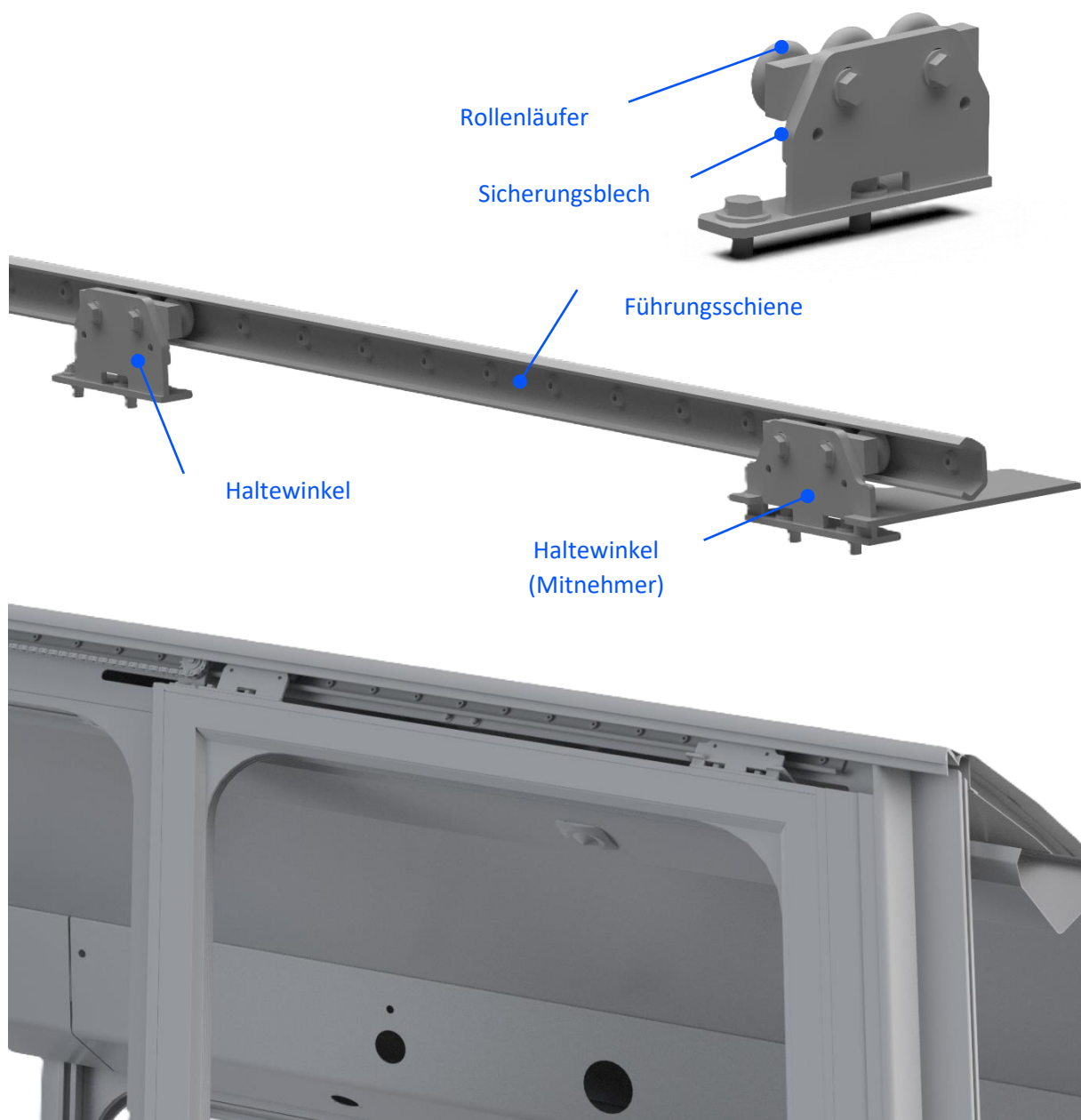


Abbildung 38: Türführungskomponenten im Detail

## 5.4 Gegengewicht

Das Gegengewicht unterstützt bei einflügeligen Türen den Motor beim Öffnen und Schliessen. In diesem Fall muss das Gegengewicht die Hangabtriebskraft von 208N ausgleichen. Durch den Flaschenzug wird die nötige Gewichtskraft halbiert, so dass das Gegengewicht noch 10.6Kg erreichen muss. Im Gegenzug muss dafür der Hub des Gegengewichts von 1100mm auf 2200mm erhöht werden. Die Rollenkette, die das Gegengewicht hält, weist eine Bruchkraft von 8900N auf und ist somit genügend ausgelegt. Die Rollenkette wird über die beiden Zahnräder zurück zum Steckglied geführt und dort befestigt. Die Zahnräder verfügen über ein integriertes Lager und sind auf eine Welle aufgespresst. Diese ist direkt mit dem entsprechenden Halter verschweisst. Der eine Halter wird direkt mit der Struktur verschraubt und der andere Halter wird auf die Türe geschraubt. Die Führung besteht aus Führungsschiene, Deckel und den dazugehörigen Schrauben. Die Führung wird an der Struktur angeietet und für den Deckel werden in der Seitenwand Gewindeeinsätze montiert, so dass der Deckel für Wartungszwecke geöffnet werden kann.

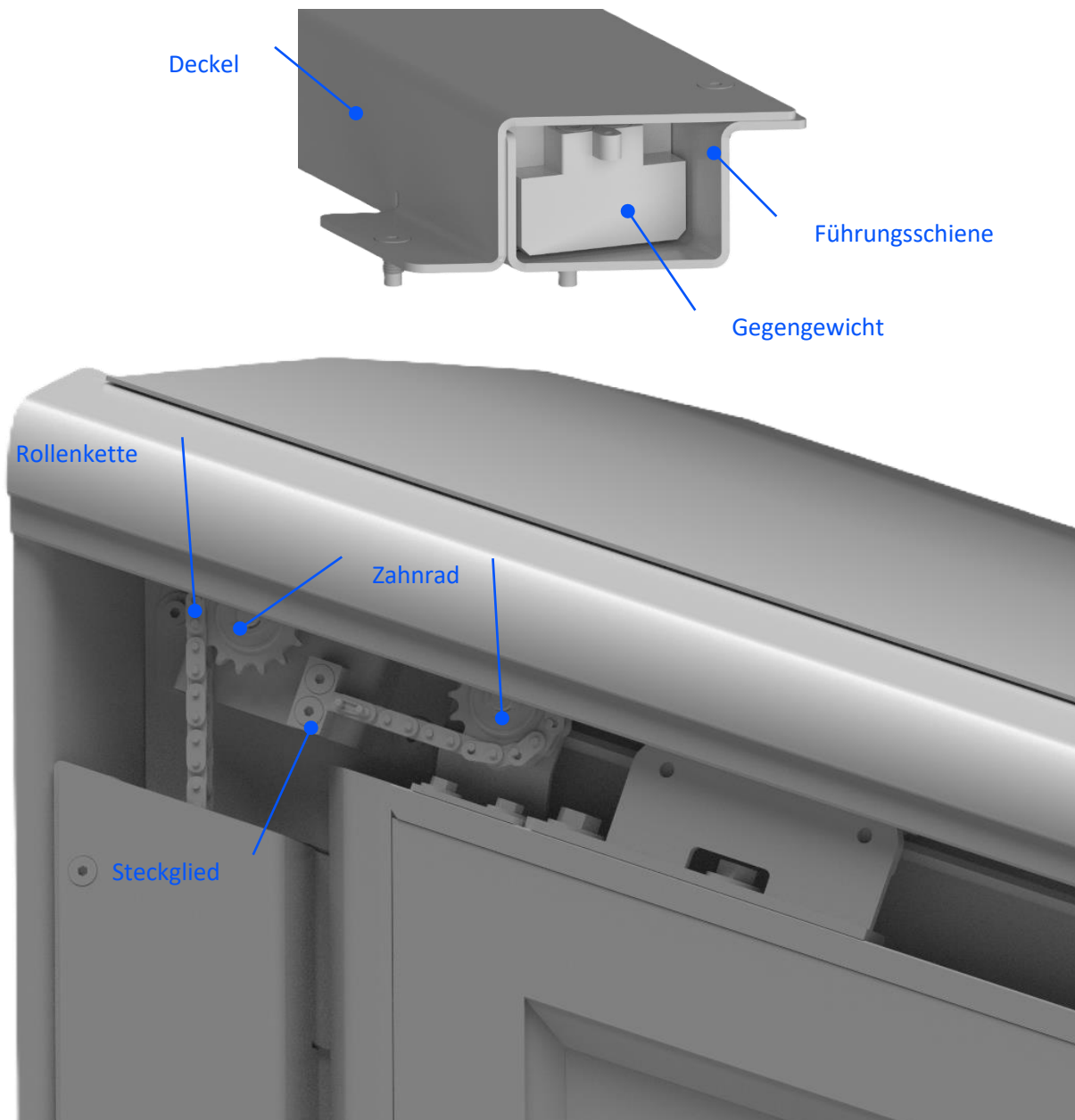


Abbildung 39: Gegengewichtskomponenten im Detail

Das Gegengewicht besteht aus einem verzinkten Stahlklotz, an dem auf jeder Seite eine Kunststoffplatte aus POM angeschraubt ist. Diese erhöhen die Gleiteigenschaften und reduzieren die Geräuschbildung. Am Gegengewicht selbst ist ein kleines Stahlteil befestigt, dass mit einem Steckglied versehen ist. So kann die Rollenkette ganz einfach am Gegengewicht befestigt werden. Wenn die Türe geschlossen ist, ist das Gegengewicht an der obersten Position und hält auch während einem Ausfall der Steuerung die Türe in Position. Wenn die Türe geöffnet ist, ist das Gegengewicht am unteren Endpunkt der Führung.

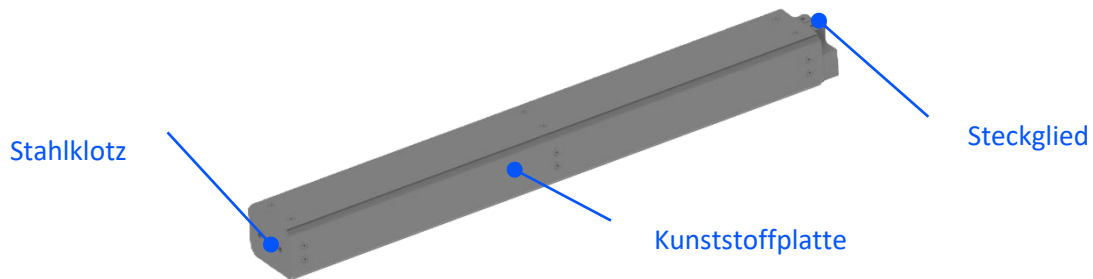


Abbildung 40: Türe inkl. Gegengewicht in geschlossen Position

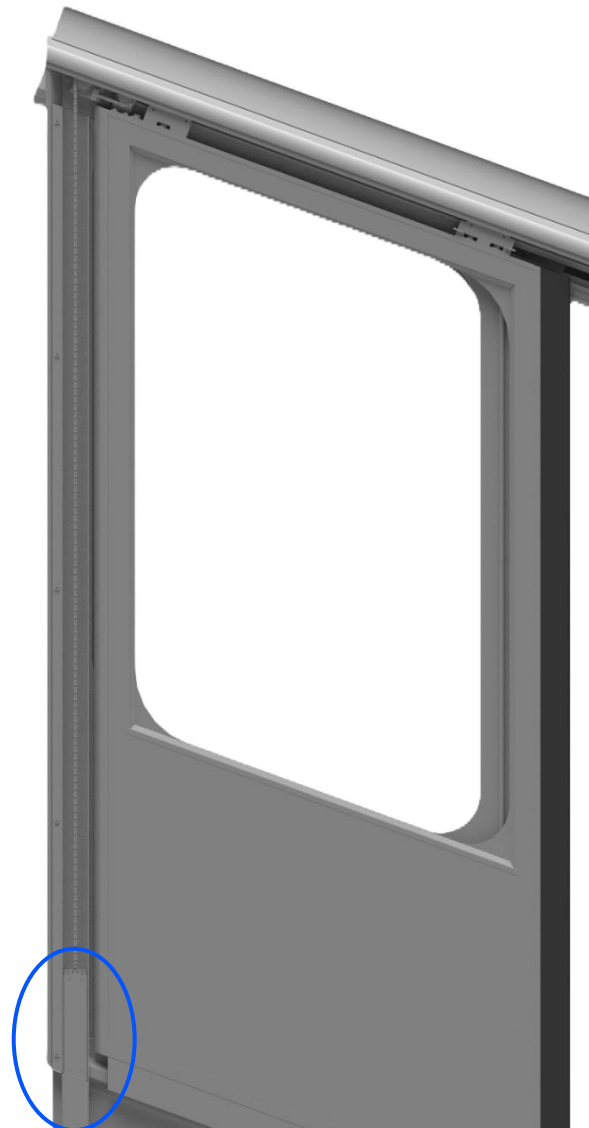
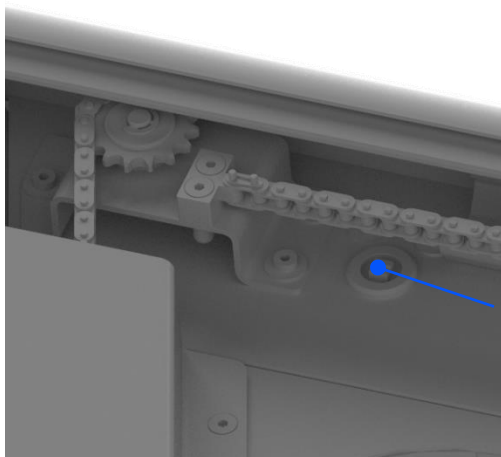


Abbildung 41: Türe inkl. Gegengewicht in offen Position

## 5.5 Notentriegelung

Die Türen müssen bei einer Störung des Türantriebs oder bei einem Notfall manuell entriegelt und geöffnet werden können. Im inneren der Standseilbahn muss dies von einem Passagier erfolgt werden können und von aussen vom Bahnpersonal mit Hilfe eines Vierkantschlüssel. Die Notentriegelung innen wird hinter dem Dachseitenkanal an die Struktur geschraubt. In dieser Baugruppe ist der Notentriegelungshebel montiert. Am Dachseitenkanal ist eine transparente Polycarbonatabdeckung montiert, die im Notfall vom Passagier entfernt wird. Die äussere Notentriegelung wird an der Seitenwand befestigt und durch ein Loch in der Regenleiste mittels eines Vierkantschlüssel betätigt. Die Notentriegelungen funktionieren über einen Seilzug, der jeweils direkt auf die Verriegelung des Türantriebs führt.



Vorreiber

Abbildung 45: Notentriegelung aussen

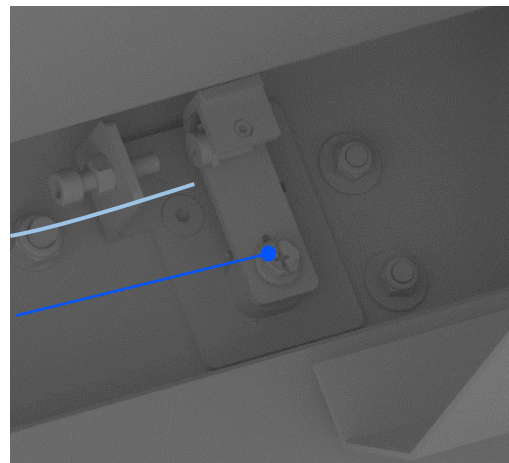
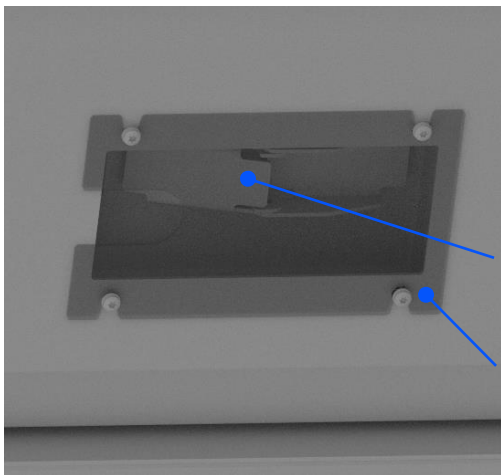
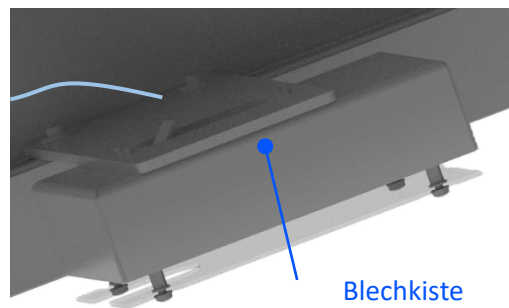


Abbildung 46: Notentriegelung aussen von innen



Hebel  
Abdeckung

Abbildung 44: Notentriegelung innen mit Abdeckung



Blechkiste  
(Hebel)

Abbildung 43: Notentriegelung innen an der Struktur

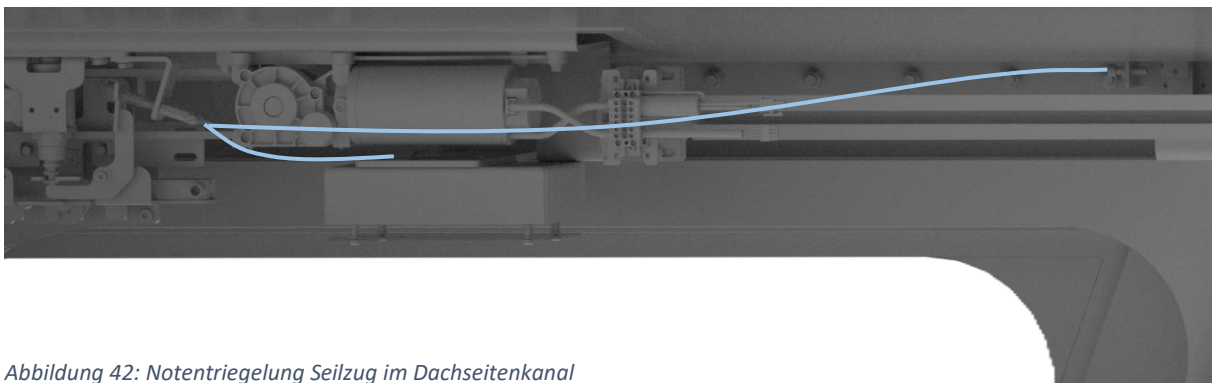


Abbildung 42: Notentriegelung Seilzug im Dachseitenkanal

## 5.6 Einschätzung Prototypenerprobung

Beim Umbau des Türantriebs gibt es verschiedene Risiken, die auftreten können. Um den Umbau möglichst reibungslos durchführen zu können, sind die wichtigsten Punkte erläutert. Auf der Zeichnung 27018663 sind alle notwendigen Informationen die für den Umbau ersichtlich.

Nr.	Risiko	Beschreibung
1	Ausbauzustand	Die Standseilbahn ist bereits seit 30 Jahren in Betrieb. In dieser Zeit wurden diverse Wartungsarbeiten durchgeführt bei denen Komponenten ausgetauscht wurden und eventuell neue Löcher gebohrt wurden. Ebenfalls ist es möglich, dass der Betreiber im Innenraum der Kabine Werbetafeln angebracht hat, die nun den Zugang einschränken können. Dadurch könnte es zu Kollisionen oder Problemen bei der Montage des neuen Türantrieb kommen.
2	Gewicht	In den Aktenordner sind die Gewichte der verbauten Komponenten zu finden. Die Gewichte sind zum Teil errechnete Werte und zum Teil gewogene Komponenten. Die Türe wiegt 62Kg (gewogen) laut Bericht aus dem Archiv. Wenn die Türe in den Jahren schwerer geworden ist (Werbung, Wartungsarbeiten etc.) reicht das Gegengewicht nicht mehr aus. In diesem Fall hat das Gegengewicht auf der Unterseite zwei M6 Gewinde, um zusätzliches Gewicht anzuschrauben.
3	Passgenauigkeit	Ob die Kabine so gebaut wurde wie es in den Zeichnungen abgebildet ist, kann nicht verifiziert werden. Auch wenn die Konstruktion im 3D genau passt, kann es sein das durch die Fertigungstoleranzen gewisse Profile kürzer oder länger sind. Das gleiche gilt für das Innendach, es wird davon ausgegangen, dass die Querträger an der Position verbaut wurden wie gezeichnet. Ansonsten müssen vor Ort die Komponenten bearbeitet werden, so dass dann in der Serie alles ohne Komplikationen passt.