



Diplomarbeit

Studiendepartment Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Integration eines Boarding Device in ein privates Luxus-Großraumflugzeug für den Transport von Passagieren in die Kabine

Michaela Friedrich

1. April 2009



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Department Fahrzeugtechnik + Flugzeugbau
Berliner Tor 9
20099 Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

CeBeNetwork Engineering & IT
Structure Cluster
Airbus-Allee 2
28199 Bremen

Verfasser: Michaela Friedrich
Abgabedatum: 01.04.2009

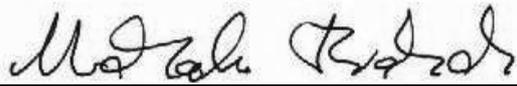
1. Prüfer: Prof. Dr. Scholz
2. Prüfer: Prof. Dr. Konieczny

Industrieller Betreuer: Knut Hachmann

Geheimhaltungsvereinbarung

Diese Diplomarbeit, die nach der Prüfungs- und Studienordnung der Hochschule für Angewandte Wissenschaften erstellt wurde, ist gemäß den beigefügten Hinweisen zur Geheimhaltung für einen Zeitraum von drei Jahren ab dem Datum der Abgabe der Diplomarbeit vertraulich zu behandeln.

Während dieses Zeitraums werden der Bericht und alle anderen Arbeitsergebnisse der Diplomarbeit nur den Prüfern zugänglich gemacht.



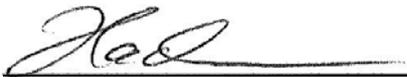
Student

27.03.2009

Datum

Unterschrift 1. und 2. Prüfer

Datum



Unterschrift Firmenbetreuer

27.03.09

Datum

Korrespondenzadresse des Firmenbetreuers:

Herr
Knut Hachmann
CeBeNetwork Engineering & IT
Airbus-Alle 2
28199 Bremen

Tel: 0421 558 364 0

E-Mail: khachmann@cebenetwork.com

Kurzreferat

Diese Diplomarbeit zeigt die konstruktive Umsetzung eines Personenfahrstuhls, welcher in die bestehende Kabine eines Privatflugzeugs des Typs A340 integriert wird. Der Entscheidungsprozess für die Ausführung als Fahrstuhl wird dargestellt, basierend auf den Anforderungen des Betreibers sowie den technischen Gegebenheiten. Dabei werden auf den kommenden Seiten Möglichkeiten erörtert, die letzten Endes zu der folgenden Umsetzung führten: Der Fahrstuhl wird aus den Komponenten

- Fahrkorb
- Türen
- Antrieb
- Führungsschienen
- Schacht

zusammengestellt. Dabei wurde zuerst das grundsätzliche Prinzip dieser Komponenten erörtert. Mit Hilfe verschiedener Normen wurden anschließend die einzelnen Teile ausgelegt und schließlich umfassend konstruktiv realisiert. Besonders ist dabei, dass der Fahrkorb aufgrund des geringen Platzangebotes - im Gegensatz zu konventionellen Modellen - in teleskopartigen Führungsschienen bewegt wird. Begleitend zur konstruktiven Umsetzung wurde eine Gefahrenanalyse nach EN 1050 durchgeführt, welche ein sicheres Betreiben des Fahrstuhls gewährleistet.



FACHBEREICH FAHRZEUGTECHNIK UND FLUGZEUGBAU

Integration eines Boarding Device in ein privates Luxus-Großraumflugzeug für den Transport von Passagieren in die Kabine

Aufgabenstellung zur *Diplomarbeit* gemäß Prüfungsordnung

Hintergrund

Die Saudi Arabian Royal Flight besitzt das einzige produzierte Großraumflugzeug des Typs A340-8000. Es handelt sich hierbei um eine Variante, welche auf den Abmessungen des A340-200 basiert. Durch größere Treibstofftanks sowie die Integration neuer Triebwerke konnte die Reichweite bei einem maximalen Abfluggewicht von 275 Tonnen auf 14.800 km erhöht werden. Um nun auch den Komfortansprüchen der Betreiber gerecht zu werden, soll in das Flugzeug ein Boarding Device integriert werden. Es soll das Betreten des Flugzeuges über die Fluggastbrücke oder -treppe ersetzen, indem die wichtigsten Passagiere vom Rollfeld direkt ins Hauptschlafzimmer oder in dessen unmittelbare Nähe befördert werden.

Aufgabe

Im Rahmen der Diplomarbeit soll dieses Boarding Device konstruktiv umgesetzt werden. Hierbei sind die folgenden Punkte auszuarbeiten:

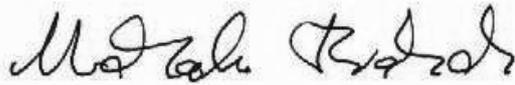
- Herausarbeiten der Anforderungen, welche sowohl aufgrund der technischen Gegebenheiten als auch durch die Wünsche der Betreiber entstehen
- Abwägen verschiedener Grundkonzepte gegeneinander, sowie das Festlegen auf den bestmöglichen Entwurf
- Konstruktives Ausarbeiten des Entwurfs. Hierbei sollen nur die Teile betrachtet werden, welche das Boarding Device direkt betreffen. Die ausgelegten Komponenten sollen in Catia dargestellt werden.
- Durchführen einer Gefahrenanalyse nach **EN 1050**
- Formulieren der Ergebnisse sowie Aufzeigen der notwendigen weiterführenden Arbeiten.

Bei der Erstellung des Berichtes sind die entsprechenden DIN-Normen zu beachten.

Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Diplomarbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

29.03.2009



.....
Datum

Unterschrift

Inhalt

Verzeichnis der Bilder	9
Verzeichnis der Tabellen	11
Liste der Symbole	12
Verzeichnis der Begriffe und Definitionen	15
1	
1.1	
1.2	
1.3	
1.4	
2	
2.1	
2.1.1	
2.1.2	
2.2	
2.2.1	
2.2.2	
2.2.3	
2.2.4	
3	
3.1	
3.1.1	
3.1.2	
3.1.3	
3.2	
3.2.1	
3.2.2	
3.2.3	
3.2.4	
4	
4.1	
4.2	
4.2.1	
4.2.2	
4.2.3	
4.2.4	
4.3	
4.3.1	
4.3.2	
4.3.3	
4.3.4	
4.4	
4.4.1	
4.4.2	
4.4.3	
4.4.4	
4.5	
4.5.1	
4.5.2	
4.5.3	
4.5.4	

4.6	Schacht	126
4.6.1	Schacht – Grundkonfiguration	126
4.6.2	Schacht – Anforderungen	128
4.6.3	Schacht – Auslegung und Berechnung	129
4.6.4	Schacht – konstruktive Umsetzung	135
4.7	Darstellung des Gesamtentwurfs	138
5	GEFAHRENANALYSE	144
5.1	Allgemeines	144
5.2	Bestimmungsmäßige Verwendung	144
5.3	Risikobeurteilung nach EN 1050	144
5.4	Liste der Lösungen	149
6	ZUSAMMENFASSUNG	165
6.1	Zusammenfassung	165
6.2	Weiterführende Arbeiten	166
	Literaturverzeichnis	167

Verzeichnis der Bilder

Abbildung 1: Kabineninterieur.....	22
Abbildung 2: Kabineninterieur – Sektion 13/14.....	23
Abbildung 3: Interieur mit Struktur – Catia Modell.....	23
Abbildung 4: Interieur ohne Struktur – Catia Modell	24
Abbildung 5: Fahrstuhl – Skizze.....	29
Abbildung 6: Sessellift – Skizze.....	30
Abbildung 7: Rolltreppe – Skizze	31
Abbildung 8: Fahrkorb – Rahmen	47
Abbildung 9: Fahrkorb – Abmessung Rahmen.....	50
Abbildung 10: Fahrkorbwände – Position	50
Abbildung 11: Fahrkorbwände – Abmessungen.....	51
Abbildung 12: Fahrkorbwand – Prinzipskizze.....	52
Abbildung 13: Fahrkorbwand – Dicke	55
Abbildung 14: Fahrkorbdecke – Position	55
Abbildung 15: Fahrkorbdecke – Abmessungen	56
Abbildung 16: Fahrkorbdecke – Dicke	57
Abbildung 17: Evakuierungsklappe – Abmessungen	58
Abbildung 18: Fahrkorbboden – Position.....	58
Abbildung 19: Fahrkorbboden – Kräfte	59
Abbildung 20: Fahrkorbboden – Höhe	61
Abbildung 21: Fahrkorb – Seitenansicht	62
Abbildung 22: Fahrkorb – Isometrische Ansicht	63
Abbildung 23: Fahrkorb – Vorderansicht & Rückansicht.....	63
Abbildung 24: Fahrkorb – Bohrungen links	64
Abbildung 25: Fahrkorb – Bohrungen rechts	64
Abbildung 26: Fahrkorb – Draufsicht.....	65
Abbildung 27: Fahrkorb – Schlitten.....	65
Abbildung 28: Einfacher Schlitten – Vorderansicht & Rückansicht	66
Abbildung 29: Einfacher Schlitten – Seitenansicht & Isometrische Ansicht.....	66
Abbildung 30: Rechtwinkliger Schlitten – Vorderansicht & Rückansicht	67
Abbildung 31: Rechtwinkliger Schlitten – Seitenansicht.....	67
Abbildung 32: Rechtwinkliger Schlitten – Isometrische Ansicht.....	68
Abbildung 33: Fahrkorbtüren – Geschlossen.....	69
Abbildung 34: Fahrkorbtüren – Geöffnet.....	70
Abbildung 35: Fahrkorbtüren – Schiebemechanismus	71
Abbildung 36: Fahrkorbtüren – Elektromotoren	71
Abbildung 37: Fahrkorbtüren – Abmessungen.....	73
Abbildung 38: Fahrkorbtüren – Prinzipskizze.....	73
Abbildung 39: Fahrkorbtüren – Durchbiegung	74
Abbildung 40: Fahrkorbtüren – Biege widerstandsmoment.....	74
Abbildung 41: Fahrkorbtüren – Isometrische Ansicht.....	76
Abbildung 42: Fahrkorbtüren – Führungsschienen.....	77
Abbildung 43: Pbere Führungsschiene – Voderansicht.....	77
Abbildung 44: Obere Führungsschiene – Seitenansicht mit Elektromotor	77
Abbildung 45: Obere Führungsschiene – Überblick.....	78
Abbildung 46: Obere Führungsschiene – Detail.....	78
Abbildung 47: Untere Führungsschiene – Voderansicht.....	78
Abbildung 48: Untere Führungsschiene – Seitenansicht	79
Abbildung 49: Türflügel – Vorderansicht.....	79
Abbildung 50: Türflügel – Isometrische Ansicht	80
Abbildung 51: Türflügelsteg – Oben	80
Abbildung 52: Türflügelsteg – Hinten.....	81
Abbildung 53: Oberes Schienensystem – Draufsicht	81

Abbildung 54: Oberes Schienensystem – Isometrische Ansicht.....	82
Abbildung 55: Antrieb – Grundkonfiguration	83
Abbildung 56: Antrieb – Wirkende Kräfte, Momente und Drehzahlen (KSH 2008)	85
Abbildung 57: Spindelhubgetriebe – Seitenansicht (KSH 2008).....	88
Abbildung 58: Spindelhubgetriebe – Vorderansicht & Draufsicht (KSH 2008)	88
Abbildung 59: Spindel – unter Belastung	97
Abbildung 60: Antrieb – Isometrische Ansicht	99
Abbildung 61: Antrieb – Draufsicht und Seitenansicht.....	100
Abbildung 62: Antrieb – Befestigung	100
Abbildung 63: Antrieb – Detailansicht.....	100
Abbildung 64: Befestigung oben – Isometrische Ansicht	101
Abbildung 65: Befestigung oben – Draufsicht	101
Abbildung 66: Befestigung unten – Isometrische Ansicht	102
Abbildung 67: Befestigung unten – Draufsicht	102
Abbildung 68: Befestigung gesamt – Isometrische Ansicht.....	103
Abbildung 69: Schienen – mögliche Ausführungen	104
Abbildung 70: Schienensystem – Grundkonfiguration.....	104
Abbildung 71: Schienensystem – linke Führungsschienen	105
Abbildung 72: Schienensystem – rechte Führungsschienen.....	105
Abbildung 73: Führungsschienen – Lastaufnahme in der x-Achse (DIN EN 81-1 2000)	109
Abbildung 74: Führungsschienen – Lastaufnahme in der y-Richtung (DIN EN 81-1 2000).....	109
Abbildung 75: Lastfall Normalbetrieb – Beladen (DIN EN 81-1 2000).....	115
Abbildung 76: Innere Führungsschienen – Draufsicht.....	121
Abbildung 77: Innere Führungsschiene – Detail.....	121
Abbildung 78: Äußere Führungsschienen – Draufsicht	122
Abbildung 79: Linke äußere Führungsschiene – Detail.....	122
Abbildung 80: Rechte äußere Führungsschiene – Detail.....	122
Abbildung 81: Führungsschienen – Seitenansicht.....	123
Abbildung 82: Führungsschienen – Draufsicht.....	123
Abbildung 83: Führungsschienen – mit Schlitten	124
Abbildung 84: Führungsschienen – mit einem Schlitten	124
Abbildung 85: Führungsschienen – mit zwei Schlitten	124
Abbildung 86: Führungsschienen Gesamtsystem – Seitenansicht & Vorderansicht.....	125
Abbildung 87: Führungsschienen Gesamtsystem – Draufsicht.....	125
Abbildung 88: Schacht – mit Führungsschienen.....	126
Abbildung 89: Schacht – Lasten (CS-25 2000)	127
Abbildung 90: Schacht - Belastungen.....	129
Abbildung 91: Schraubenverbindung – Betriebskraft F_B	131
Abbildung 92: Schraubenverbindungen – Schraubenvorwahl.....	132
Abbildung 93: Schraubenberechnung – Teil 1	133
Abbildung 94: Schraubenberechnung – Teil 2	134
Abbildung 95: Schacht – Vorderansicht & Draufsicht.....	135
Abbildung 96: Schacht – Bohrungen.....	135
Abbildung 97: Schacht mit Führungsschienen – Isometrische & Seitenansicht	136
Abbildung 98: Schacht mit Führungsschienen – Draufsicht.....	136
Abbildung 99: Gesamtentwurf Fahrstuhl.....	137
Abbildung 100: Positionierung.....	138
Abbildung 101: Gesamtentwurf.....	138
Abbildung 102: Gesamtentwurf ohne Interieur – Fahrkorb in Kabine.....	139
Abbildung 103: Gesamtentwurf ohne Interieur – Fahrkorb verstaut im Frachtraum	140
Abbildung 104: Gesamtentwurf ohne Interieur – Fahrkorb auf dem Rollfeld	140
Abbildung 105: Gesamtentwurf mit Interieur – Fahrkorb auf dem Rollfeld.....	141
Abbildung 106: Gesamtentwurf mit Interieur – Fahrkorb in Kabine	141
Abbildung 107: Gesamtentwurf mit Interieur – Fahrkorb verstaut im Frachtraum.....	142
Abbildung 108: Gesamtentwurf – Draufsicht.....	143
Abbildung 109: Gesamtentwurf.....	148

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Boarding Device – Decision Table.....	38
Tabelle 2: Fahrkorb – Nennlast / Nutzfläche (TRA 5.1300 1994).....	44
Tabelle 3: Fahrkorb – Personen / Nennlast (TRA 5.1300 1994)	45
Tabelle 4: Fahrkorb – Minimale Nutzfläche.....	48
Tabelle 5: Fahrkorb – maximale Nutzfläche	48
Tabelle 6: Faktoren $c_1 - c_5$ in Abhängigkeit von a/b (Dubbel 2007 Abschnitt C5.1.1)	54
Tabelle 7: Fahrkorbwand – 2100mm x 1000mm.....	54
Tabelle 8: Fahrkorbwand – 2100mm x 900mm.....	54
Tabelle 9: Fahrkorbwand – Abmessungen	54
Tabelle 10: Faktoren $c_1 - c_5$ in Abhängigkeit von a/b (Dubbel 2007 Abschnitt C5.1.1)	56
Tabelle 11: Fahrkorbdecke – Abmessungen.....	57
Tabelle 12: Fahrkorbboden – Abmessungen	60
Tabelle 13: Faktoren $c_1 - c_5$ in Abhängigkeit von a/b (Dubbel 2007 Abschnitt C5.1.1)	60
Tabelle 14: Fahrkorb – Masse.....	68
Tabelle 15: Fahrkorbtüren – Auslegung.....	75
Tabelle 16: Fahrkorbtüren – gewählte Türdicken	75
Tabelle 17: Fahrkorbtüren – Masse	82
Tabelle 18: Antrieb – Einschaltdauer [KSH 2008].....	86
Tabelle 19: Antrieb – Getriebe-Spindel-Konfiguration [KSH 2008].....	87
Tabelle 20: Antrieb – Abmessungen [KSH 2008].....	89
Tabelle 21: Antrieb – effektive Hubleistung [KSH 2008]	90
Tabelle 22: Drehmoment – Umrechnungsfaktor f_H [KSH 2008]	91
Tabelle 23: Kugelgewindespindel – Faktoren (KSH 2008).....	92
Tabelle 24: Motortypen – Leistungsdaten [GM 2006]	95
Tabelle 25: Antrieb – Maximales Moment [KSH 2008].....	96
Tabelle 26: Gehäuse – Material [KSH 2008]	97
Tabelle 27: Antrieb – Masse.....	103
Tabelle 28: Führungsschienen – Stoßfaktoren (DIN EN 81-1 2000)	107
Tabelle 29: Führungsschienen – Auswahl.....	118
Tabelle 30: Schacht – Belastungen.....	129
Tabelle 31: Schachtwand – 2100 mm x 2500 mm.....	130
Tabelle 32: Schachtwand – 1200 mm x 2500 mm.....	130
Tabelle 33: Gefahrenanalyse – Liste der Lösungen	149

Liste der Symbole

A	= Aufenthaltsdauer
A	= Flächeninhalt
a	= Lange Seite
A	= Querschnittsfläche einer Führungsschiene in mm ²
a	= Tiefe Rahmen
b	= Breite Rahmen
b	= Kurze Seite
c	= Dicke der Verbindung zwischen Fuß und dem Blatt in mm
c	= Tiefe Schlittenbefestigung
c_3	= Faktor
d	= Breite Schlittenbefestigung
E	= E-Modul
E	= Möglichkeit zum Erkennen und Vermeiden der Gefahr
f	= Durchbiegung
F_{eff}	= Effektive Hublast des Hubgetriebes
f_H	= Umrechnungsfaktor, beinhaltet Spindelgeometrie und Reibverluste
F_K	= Knickkraft an einer Führungsschiene für den Fahrkorb in N
f_M	= Faktor für alle Standardhubgetriebe
$F_{r,max}$	= Maximale Radialkraft der Antriebswelle
F_s	= Schwelllast
F_x	= Führungskraft in der x-Achse in N
F_y	= Führungskraft in der y-Achse in N
g	= Erdbeschleunigung in m/s ²
H	= Außenhöhe
h	= Dicke der Platte
h	= Höhes des Fahrkorbes in mm
h	= Innenhöhe
i	= Überstezung des Hubgetriebes
I_x	= Trägheitsmoment bezogen auf y-Achse in mm ⁴
I_y	= Trägheitsmoment bezogen auf x-Achse in mm ⁴
k_1	= Stoßfaktor nach Tabelle 28
k_2	= Stoßfaktor
k_3	= Stoßfaktor
l	= Größter Abstand zwischen den Befestigungen in m

M	= Kraft aus Hilfseinrichtungen in einer Führungsschiene in N
M_0	= Leerlaufmoment
M_{an}	= Antriebsmoment
M_{Br}	= Bremsmoment
M_{ges}	= Gesamtantriebsmoment
M_{max}	= Maximales Antriebsmoment
M_{Sp}	= Drehmoment der Hubspindel
M_x	= Biegemoment um die x-Achse in Nm
M_y	= Biegemoment um die y-Achse in Nm
n	= Anzahl der Schienen
n_{an}	= Antriebsdrehzahl
n_{ges}	= Gesamtwirkungsgrad
n_{max}	= Maximale Drehzahl
n_{Motor}	= Drehzahl des Motors
p	= Flächenlast
P	= Masse des leeren Fahrkorbes in kg
P	= Steigung der Spindel
P_{an}	= Antriebsleistung
$P_{Hub,eff}$	= Effektive Hubleistung
$P_{Hub,max}$	= Maximale Hubleistung
Q	= Nennlast in kg
S	= Schadensausmaß
V_{eff}	= Maximale Hubgeschwindigkeit
v_{Hub}	= Hubgeschwindigkeit
$v_{Hub,tat}$	= Tatsächliche Hubgeschwindigkeit
W	= Wahrscheinlichkeit des Eintretens
W_x	= Widerstandsmoment um die x-Achse in mm ³
W_y	= Widerstandsmoment um die y-Achse in mm ³
x_l	= Abstand des Zuganges zur y-Achse
x_P	= Abstand des Fahrkorbschwerpunktes zur y-Achse in mm
x_Q	= Abstand des Nennlastschwerpunktes zur y-Achse in mm
x_s	= Abstand von S zur y-Achse
y_l	= Abstand des Zuganges zur x-Achse
y_P	= Abstand von P zur y-Achse in mm
y_Q	= Abstand von Q zur y-Achse in mm
y_s	= Abstand von S zur x-Achse
δ_x	= Durchbiegung in der x-Achse in mm

δ_y	= Durchbiegung in der y-Achse in mm
η_{ges}	= Gesamtwirkungsgrad
σ	= Zusammengesetzte Spannung aus Biegung und Druck in N/mm ²
σ_c	= Zusammengesetzte Spannung aus Biegung und Knickung in N/mm ²
σ_F	= Lokale Flansch-Biegespannung in n/mm ²
σ_k	= Knickspannung in N/mm ²
σ_m	= Biegespannung in N/mm ²
σ_x	= Biegespannung in x-Achse in N/mm ²
σ_y	= Biegespannung in y-Achse in N/mm ²
ω	= Knickzahl

Verzeichnis der Begriffe und Definitionen

Ausgleichsgewicht (balancing weight)

"Masse, die der Energieeinsparung dadurch dient, dass sie die gesamte oder einen Teil der Masse des Fahrkorbes ausgleicht." (DIN EN 81-1 2000)

Benutzer (user)

"Personen, die den Aufzug benutzen." (DIN EN 81-1 2000)

Bremsfangvorrichtung (progressive safety gear)

"Fangvorrichtung, bei der die Bremsung durch Reibung an den Führungsschienen erfolgt und bei der besondere Vorkehrungen getroffen sind, dass die auf den Fahrkorb, das Gegengewicht oder Ausgleichsgewicht wirkenden Kräfte auf ein zulässiges Maß begrenzt sind."

(DIN EN 81-1 2000)

Einfahren (levelling)

"Vorgang, mit dem die Haltegenauigkeit des Fahrkorbes an den Haltestellen verbessert wird."

(DIN EN 81-1 2000)

Elektrische Sicherheitskette (electric safety chain)

"Gesamtheit der in Serie geschalteten elektrischen Sicherheitseinrichtungen."

(DIN EN 81-1 2000)

Entriegelungszone (unlocking zone)

"Bereich unterhalb und oberhalb der Haltestelle, in dem sich der Boden des Fahrkorbes befinden muss, damit die Schachttür an dieser Haltestelle entriegelt sein darf."

(DIN EN 81-1 2000)

Fahrgast (passenger)

"Jede Person, die im Fahrkorb eines Aufzuges befördert wird. In der Deutschen Fassung wird dieser Begriff nicht verwendet, sondern Person oder Benutzer."

(DIN EN 81-1 2000)

Fahrkorb (car)

"Teil des Aufzuges, der die Personen und / oder die Lasten aufnimmt."

(DIN EN 81-1 2000)

Fangvorrichtung (safety gear)

"Mechanisches Teil, das dazu dient, den Fahrkorb, das Gegengewicht oder Ausgleichsgewicht bei einer Übergeschwindigkeit in Abwärtsfahrt oder Bruch der Tragmittel an den Führungsschienen abzubremesen und festzuhaken." (DIN EN 81-1 2000)

Führungsschienen (guides)

"Bauteile, die der Führung des Fahrkorbes, Gegengewichtes oder Ausgleichsgewichtes, sofern vorhanden, dienen." (DIN EN 81-1 2000)

Gegengewicht (counterweight)

"Masse, die die Treibfähigkeit sicherstellt." (DIN EN 81-1 2000)

Geschwindigkeitsbegrenzer (overspeed governor)

"Bauteil, das bei Erreichen einer vorherbestimmten Geschwindigkeit das Triebwerk abschaltet und, wenn notwendig, die Fangvorrichtung einrückt." (DIN EN 81-1 2000)

Nenngeschwindigkeit (rated speed)

"Geschwindigkeit des Fahrkorbes, für die der Aufzug ausgelegt ist." (DIN EN 81-1 2000)

Nennlast (rated load)

"Last, für die der Aufzug ausgelegt ist." (DIN EN 81-1 2000)

Nutzfläche des Fahrkorbes (available car area)

"Fläche des Fahrkorbes, gemessen 1 m über dem Boden ohne Berücksichtigung eventueller Handläufe, die die Benutzer und Lasten während des Aufzugsbetriebes einnehmen können." (DIN EN 81-1)

Puffer (buffer)

"Nachgiebiger Anschlag am Ende der Fahrbahn, der hydraulisch, durch Federn oder durch ähnliche Einrichtungen verzögert." (DIN EN 81-1 2000)

Rahmen (siing)

"Rahmen aus Metall, der den Fahrkorb, das Gegengewicht oder Ausgleichsgewicht trägt und mit den Tragmitteln verbunden ist. Er kann Bestandteil der Fahrkorbwände sein." (DIN EN 81-1 2000)

Schacht (well)

"Raum, in dem sich der Fahrkorb und das Gegengewicht oder Ausgleichsgewicht bewegen. Dieser Raum ist üblicherweise durch den Boden der Schachtgrube, die Wände und die Schachtdecke begrenzt." (DIN EN 81-1 2000)

Schachtgrube (Pit)

"Teil des Schachtes unterhalb der untersten, vom Fahrkorb bedienten Haltestelle."
(DIN EN 81-1 2000)

Schachtkopf (headroom)

"Teil des Schachtes zwischen der obersten vom Fahrkorb bedienten Haltestelle und der Schachtdecke." (DIN EN 81-1 2000)

Sperrfangvorrichtung (instantaneous safety gear)

"Fangvorrichtung, die unmittelbar sperrend an den Führungsschienen angreift."
(DIN EN 81-1 2000)

Triebwerk (lift machine)

"Einrichtung einschließlich des Motors, die die Bewegung und das Anhalten des Aufzuges bewirkt." (DIN EN 81-1 2000)

Triebwerksraum (machine room)

"Raum, in dem das Triebwerk und / oder die dazugehörigen Einrichtungen untergebracht sind." (DIN EN 81-1 2000)

1 Einleitung

1.1 Motivation

Im Normalfall stellen Fahrgastbrücke und -treppe den einzigen Weg dar, welchen Passagiere zum Betreten und Verlassen des Flugzeuges nutzen können. Im vorliegenden Fall wünscht sich der Besitzer eines Luxus-Großraumflugzeuges eine Modifizierung seines Flugzeuges, die einen noch bequemeren Boarding-Prozess zur Folge hat. Die Herausforderungen stellen dabei das geringe Platzangebot, der hohe Komfortanspruch des Betreibers und die gewünschte Kompatibilität dar. Das Boarding Device soll auf allen Flughäfen und in jedem Beladungszustand des Flugzeuges funktionsfähig sein. Während dem Flug muss es aufgrund des bestehenden Kabinendesigns im Frachtraum verstaubar sein. Neben der Auswertung der Anforderungen sowie der konstruktiven Umsetzung gilt es, eine Gefahrenanalyse durchzuführen, welche die Sicherheit der Passagiere sicherstellt.

1.2 Begriffsdefinitionen

Boarding Device

Der Begriff Boarding Device setzt sich aus zwei einzelnen Begriffen zusammen: Boarding und Device. Um Boarding Device definieren zu können, werden demnach zunächst die beiden zuvor genannten Begriffe erklärt.

Unter Boarding versteht man laut **die.net 2009** folgendes:

The act of passengers and crew getting aboard a ship or aircraft

Der Begriff Device wird laut **die.net 2009** folgendermaßen definiert:

an instrumentality invented for a particular purpose

Unter Boarding Device versteht man demnach eine Einrichtung, welche zu einem bestimmten Zweck konstruiert wurde. Sie soll Passagiere und Crew an Bord eines Flugzeuges transportieren und ihnen das Einsteigen erleichtern.

1.3 Ziel der Arbeit

Dieser Bericht soll dem Leser zeigen, welche Schritte notwendig sind, um das Boarding Device erfolgreich in ein Flugzeug integrieren zu können. Dabei wird der Prozess vom Herausarbeiten der Anforderungen über das Finden eines Grundentwurfs bis hin zur konstruktiven Umsetzung mit anschließender Gefahrenanalyse erläutert. Hierfür sollen verschiedene Grundkonzepte ausgearbeitet und gegeneinander abgewogen werden. Dies geschieht mit Hilfe einer Nutzwertanalyse, welche sowohl die technischen als auch die Betreiberanforderungen berücksichtigen sollte. Bei der konstruktiven Umsetzung sollen nur Komponenten ausgelegt und in Catia konstruiert werden, welche die Mechanik des Boarding Device direkt betreffen. Außerdem soll festgestellt werden, welche weiterführenden Schritte notwendig sind, um das Boarding Device tatsächlich in den Airbus A340 integrieren zu können.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Informationen über die Integration eines Boarding Device in ein privates Luxus-Großraumflugzeug werden hier in der folgenden Form geboten:

- Die gesamte vorliegende Arbeit soll die Konstruktion eines Boarding Device vom Zusammenstellen des Pflichtenheftes über die eigentliche Auslegung bis zur Durchführung einer Gefahrenanalyse beschreiben. Es soll ebenfalls vermittelt werden, welche Aufgaben weiterführend bearbeitet werden müssen.
- Der Hauptteil des Berichtes enthält die Ausführungen zum Thema:

Abschnitt 2 beschreibt die Anforderungen, welche sowohl der Betreiber, als auch die Zulassungsbehörden an das Boarding Device stellen.

Abschnitt 3 widmet sich den grundsätzlichen möglichen Entwürfen des Boarding Device sowie der Abwägung zwischen diesen.

Abschnitt 4 erläutert die konstruktive Ausarbeitung des Boarding Device, wobei grundsätzliches Prinzip, Anforderungen der Normen, Auslegung der einzelnen Komponenten sowie die fertigen Catia-Modelle beschrieben werden.

Abschnitt 5 behandelt die Bewertung der Teile des Boarding Device bezüglich der Gefahr, die durch sie entstehen könnten. Die notwendigen konstruktiven Veränderungen werden hier ebenfalls dargestellt.

Abschnitt 6 gibt Hinweise auf die nach Abschluss der Diplomarbeit notwendigen weiterführenden Arbeiten, welche mit diesem Bericht noch nicht abgedeckt werden.

2 Anforderungen

Bei der Konstruktion von technischen Geräten ist es notwendig, vor Beginn der Arbeit zu wissen, welche Anforderungen an das Gerät gestellt werden. So ist es auch beim hier zu konstruierenden Boarding Device wichtig, dass die zu erfüllenden Ansprüche bekannt sind. Das sind bei diesem Projekt zum einen die Anforderungen des Betreibers, zum anderen die technischen Anforderungen, die das Boarding Device erfüllen muss.

Die Gesamtheit der Forderungen, die der Auftraggeber an den Auftragnehmer stellt, wird in einem Lastenheft zusammengefasst. Das sind in diesem Fall die durch den Betreiber gestellten Bedingungen. Die technischen Anforderungen umfassen die für die Zulassung notwendigen Bedingungen sowie die durch die Flugzeugumgebung existierenden Einschränkungen. Grundsätzlich soll das Boarding Device auf jedem beliebigen Flugplatz Passagiere vom Rollfeld in das Flugzeug befördern können.

2.1 Anforderung der Betreiber

Der Betreiber der für dieses Projekt relevanten Version des A340-200 hat sehr spezielle Wünsche. Diese gilt es besonders zu berücksichtigen. Hierbei spielen sowohl die nahtlose Integration des Boarding Device in das Flugzeug als auch die hohen Komfortanforderungen eine übergeordnete Rolle.

2.1.1 Positionierung und Integration in das Kabinendesign

Für den Betreiber ist es in erster Linie wichtig, dass sich das neu konstruierte Boarding Device gut in das Kabineninterieur einpasst und das Designkonzept der Kabine positiv unterstützt. Hierbei ist es für den Augenblick egal, in welcher Form das Boarding Device ausgeführt wird. Es soll sich so in das Kabineninterieur einfügen, dass der nachträgliche Einbau dem neutralen Beobachter nicht auffällt.

Hierzu ist es unumgänglich, auch das Design der Kabine in den Auslegungsprozess mit einzubeziehen. Denn nur, wenn sich das Kabinendesign in der Gestaltung des Boarding Device wieder findet, kann dieses konzeptionell mit dem Rest der Kabine verschmelzen.

Weiterhin gilt es, den Wunsch des Betreibers, das Boarding Device möglichst nah am master-bedroom zu integrieren, nicht außer Acht zu lassen. Diese Forderung resultiert aus der Unterbringung des wichtigsten Passagiers in eben diesem Schlafzimmer. Wenn eine Integration im master-bedroom nicht möglich sein sollte, so muss dieses Schlafzimmer dennoch sehr schnell

vom Boarding Device aus erreichbar sein. Hierbei darf wiederum nicht vernachlässigt werden, dass es sich bei dem für dieses Projekt relevanten Flugzeug um ein Modell handelt, bei dem die Inneneinrichtung schon stark auf die Belange der Passagiere zugeschnitten wurde. Damit dies weiterhin gewährleistet werden kann, ist es unumgänglich, den größtmöglichen Teil des bestehenden Interieurs beizubehalten.

Um einen Eindruck von dem Kabinendesign und den bestehenden räumlichen Gegebenheiten zu bekommen, wurde aufgrund der unten gezeigten Zeichnung ein Catia-Modell entworfen, in das die bestehende Inneneinrichtung integriert wurde.

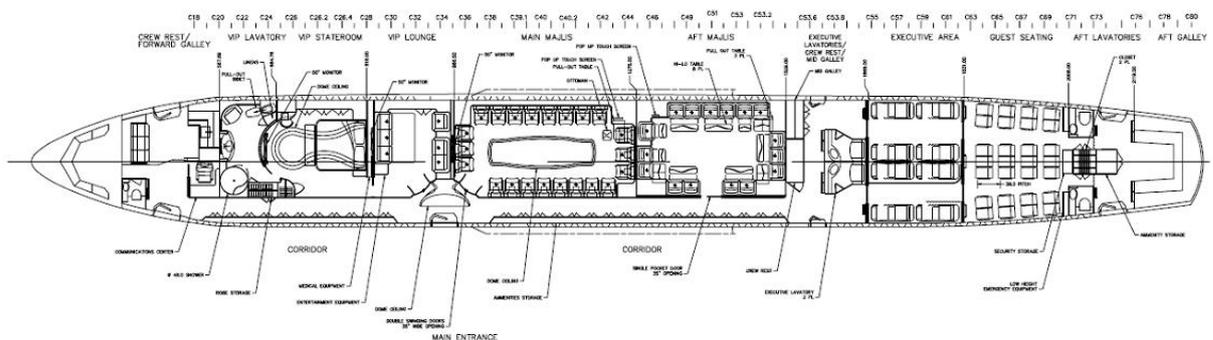


Abbildung 1: Kabineninterieur

Um einen besseren Eindruck des Abschnitts zu bekommen, der für die Konstruktion relevant ist, wurden die Sektionen 13 und 14, welche sich im vorderen Bereich des Flugzeugrumpfes befinden, hier noch einmal genauer betrachtet.

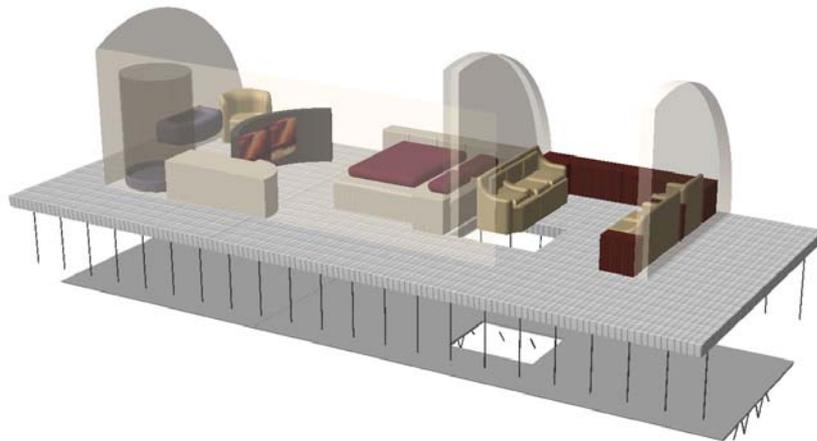


Abbildung 4: Interieur ohne Struktur – Catia Modell

2.1.2 Komfortanforderungen

Nun gilt es auch, von Betreiberseite vorgegebenen Komfortansprüchen Rechnung zu tragen. Für den Betreiber sind die folgenden Punkte wichtig:

- Abmessungen
- Geschwindigkeit
- Bedienbarkeit
- Bereitstellungszeit
- Innengestaltung

Die Abmessungen des Boarding Device spielen für den Betreiber eine übergeordnete Rolle. Denn im Gegensatz zu normalen Personenaufzügen soll bei diesem speziellen Personenbeförderungssystem nicht nur der Nutzen, sondern vielmehr ein komfortabler Transport im Vordergrund stehen. Dieser soll dadurch erreicht werden, dass die maximale Tragfähigkeit nicht mit der dazugehörigen minimalen notwendigen Fläche gepaart wird. Vielmehr soll die Tragfähigkeit des Boarding Device auf ein bis zwei Personen ausgelegt werden, während die geometrischen Abmessungen die üblichen Mindestmaße für diese Personenzahl deutlich überschreiten. Die Passagiere sollen in möglichst komfortablen Platzverhältnissen befördert werden.

Hinsichtlich der notwendigen Geschwindigkeit stellt der Betreiber die klare Forderung, dass der Transport eines Passagiers vom Boden auf Flight-Deck-Niveau oder zurück nicht länger als 30 Sekunden dauern darf. Diese Anforderung muss bei der Auslegung des Antriebs berücksichtigt werden.

Des Weiteren ist die Bedienbarkeit ein für das Komfortgefühl wichtiger Faktor. Hier gilt der Grundsatz „je einfacher, desto besser“. Da es sich bei dem hier auszulegenden Boarding Device um ein Transportmittel handelt, welches nur zwei Ebenen miteinander verbindet, kann auf ein kompliziertes Bediensystem verzichtet werden. Der Passagier soll durch eine möglichst intuitive Bedienbarkeit das Flugzeug betreten oder verlassen können.

Ähnlich wie die Bedienbarkeit stellt auch die Bereitstellungszeit einen wichtigen Faktor dar. Der Auftraggeber stellt hier die Vorgabe, dass vom Rufen des Boarding Device bis zu dessen Benutzbarkeit maximal 60 Sekunden verstreichen dürfen.

Was die Innengestaltung des Boarding Device betrifft, ist zum einen ein angenehmes Designkonzept mit freundlichen Farben und einer entsprechenden Beleuchtung wichtig. Zum anderen ist die Möglichkeit, dem Passagier während der Fahrt wichtige Information über ein Display bereitzustellen, unumgänglich.

2.2 Technische Anforderungen

Im zweiten Schritt sollen die technischen Anforderungen beschrieben werden. Diese beziehen sich sowohl auf Anforderungen, welche die Zulassung des Boarding Device betreffen, als auch auf Anforderungen, die dadurch entstehen, dass die Konstruktion in ein bereits vorhandenes Flugzeug integriert werden soll.

2.2.1 Flugzeugumgebung

Das Boarding Device soll sich möglichst gut in die Flugzeugumgebung integrieren. Hierfür ist es notwendig, dass man die genaue Geometrie des Rumpfes kennt, damit man entscheiden kann, an welcher Stelle ein einfaches Modifizieren des Rumpfes umsetzbar ist. Dazu gehören sowohl die entsprechenden Daten der primären Rumpfgeometrie, als auch Angaben über die Lage von Passagier- und Frachttoren sowie anderer Öffnungen. Außerdem sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass eine Rumpfmodifikation im Bereich des Flügelkastens nur schwer möglich ist.

Des Weiteren sollte beachtet werden, dass durch die Integration des Boarding Device in den Flugzeugrumpf Veränderungen am Rumpf durchgeführt werden müssen. Die Einbauposition sollte demnach so gewählt werden, dass die Anzahl der Veränderungen am Rumpf so gering wie möglich gehalten wird. Dies ist anzustreben, da jede Rumpfmodifikation auch dessen Festigkeit und Stabilität beeinflusst.

2.2.2 Sicherheit

Wie bei jeder konstruktiven Veränderung an Flugzeugen darf auch bei dieser die Sicherheit nicht vernachlässigt werden. Bei der Integration des Boarding Device gilt der Grundsatz, dass der Einbau das Sicherheitsrisiko für das Flugzeug während eines Fluges nicht vergrößern darf. Das kann nur dadurch verlässlich erreicht werden, dass das Boarding Device nur bei absolutem Stillstand des Flugzeugs betrieben wird.

Was die konstruktive Auslegung betrifft, muss das neu integrierte System laut **CS-25 2000** den bestimmten Kräften widerstehen können, ohne bleibende Schäden davon zu tragen. Dabei dürfen bestimmte Sicherheitsfaktoren nicht vernachlässigt werden.

2.2.3 Wartbarkeit

Ebenso wie die Sicherheit ist auch die Wartbarkeit ein für das Anforderungsprofil wichtiger Faktor. Hierbei ist unumgänglich, dass sich die Wartungsintervalle für den Airbus A340 durch die Integration des Boarding Device nicht verkürzen. Die notwendigen Wartungsintervalle sollten so platziert werden, dass sie mit denen des Gesamtflugzeuges zusammenfallen.

Ebenso wichtig wie die Wartungsintervalle ist die Komplexität der Wartung. Sie sollte so einfach wie möglich durchgeführt werden können. Denn nur so ist es möglich, einen ungestörten Flugalltag zu gewährleisten. Bei der Konstruktion ist darauf zu achten, dass Teile, welche häufiger gewartet werden müssen, möglichst frei zugänglich bleiben. Des Weiteren sollten möglichst viele gleiche Teile verwendet werden, um einem Ersatzteilproblem vorzubeugen. Nach Möglichkeit sollten Norm- und Kaufteile verwendet werden, dann sind eine reibungslose Wartung und eine schnelle Reparatur möglich.

2.2.4 Schwerpunkt

Ein für das Flugzeug entscheidender Faktor ist der Schwerpunkt. Deshalb sollte bei der Konstruktion des Boarding Device darauf geachtet werden, dass dieser so wenig wie möglich verändert wird. Da eine Schwerpunktverlagerung längs der Flugzeugrumpfes auf Grund der gewünschten Integrationsposition nicht vermieden werden kann, sollte darauf geachtet werden, dass zumindest eine Verlagerung quer zum Rumpf durch die Positionierung auf der Center-Line vermieden wird.

3 Grundentwurf

Im ersten Schritt geht es darum, das eigentliche Konzept festzulegen. Hierbei handelt es sich um die wichtigste Entscheidung in diesem Projekt. Eine Fehlentscheidung in diesem Stadium hätte immense Kosten zur Folge. Denn entweder müsste die Wahl in einem späteren Stadium wieder revidiert werden oder man hätte während des gesamten Projektes mit den entstehenden Problemen und Kosten zu kämpfen. Da der Auftraggeber die grundsätzliche Problemlösung aus der Hand gegeben hat, sollte sie also vom Auftragnehmer gewissenhaft erörtert werden. Um die Entscheidung möglichst objektiv treffen zu können, bedient man sich hier der Nutzwertanalyse. Bei dieser werden die einzelnen Kriterien entsprechend ihrer Wichtigkeit bewertet. Dann wird ausgewogen, wie gut die verschiedenen Varianten die Kriterien erfüllen. Wenn nun die Ergebnisse der Produkte aus Gewichtung und Bewertung zueinander addiert werden, erhält man eine objektive Maßzahl für die Effektivität einer Lösungsvariante. Es handelt sich dabei um eine relativ aufwändige Methode, welche sich jedoch aufgrund des großen Risikos der Fehlinvestition lohnt.

3.1 Mögliche Grundkonzepte

In den folgenden Unterkapiteln werden mögliche Konzepte genauer erläutert. Außerdem werden hier schon die Vor- und Nachteile der verschiedenen Konzepte dargestellt. Um die Übersichtlichkeit zu erhalten, werden nur die drei Konzepte, welche am realistischsten umsetzbar sind, vorgestellt. Es handelt sich dabei um die folgenden drei Möglichkeiten:

- Fahrstuhl
- Sessellift
- Rolltreppe

Bei der Fahrstuhlvariante handelt es sich um einen konventionellen Fahrstuhl mit Kabine. Bei dem Sessellift handelt es sich dagegen um einen Fahrstuhl, welcher die Passagiere nicht in einer Kabine, sondern auf einem Sessel transportiert. Die letzte Variante ist eine veränderte Version einer üblichen Rolltreppe. Um die Distanz zwischen Rollfeld und Rumpf zu überbrücken, würde sie entweder klappbar sein oder als eine Art Teleskop ausgeführt.

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Varianten mit Hilfe einer Zeichnung genauer erläutert. Um einen besseren Eindruck zu bekommen, werden auch hier die großen Vor- und Nachteile der verschiedenen Möglichkeiten dargestellt.

3.1.1 Fahrstuhl

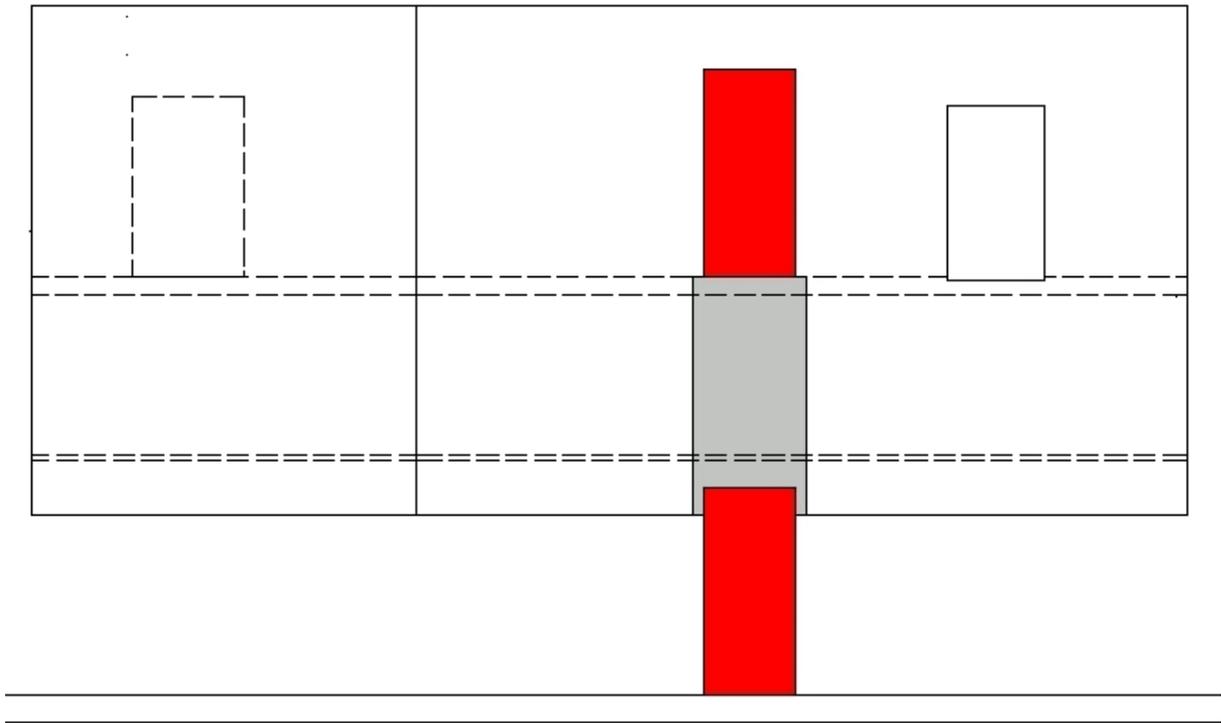


Abbildung 5: Fahrstuhl – Skizze

Bei der hier gezeigten Ausführung handelt es sich um eine besondere Ausführung eines konventionellen Personenfahrstuhls. Der Passagier verlässt und betritt das Flugzeug mit Hilfe eines Fahrkorbs. Der Fahrkorb wird über ein Schienensystem mit einem Schacht verbunden. An diesem Schienensystem gleitet der Fahrkorb dann mit dem Passagier an Bord. Zum Heben oder Senken des Fahrkorbes genügt ein relativ einfaches Antriebssystem. Um eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten wird der Fahrstuhlschacht über eine separate Anbindung mit der Flugzeugstruktur vereint.

Vorteilhaft bei dieser Variante erweist sich, dass die Öffnung, welche für den Fahrstuhl in den Flugzeugrumpf eingebracht werden muss, sehr gering gehalten werden kann. Des Weiteren sind die Passagiere durch den Fahrkorb während des gesamten Transportes gegen Witterungseinflüsse von außen geschützt. Damit der Fahrstuhl während des Fluges kein Hindernis darstellt, wird er im Frachtraum untergebracht.

Komplizierter wird es bei der Integration des Antriebssystems. Da man durch die schwierigen Platzverhältnisse nicht auf ein konventionelles Umlenkrollenprinzip zurückgreifen kann, muss hier eine neue und andersartige Lösung erdacht werden, welche sich dann innerhalb des Fahrstuhlschachtes unterbringen lässt.

3.1.2 Sessellift

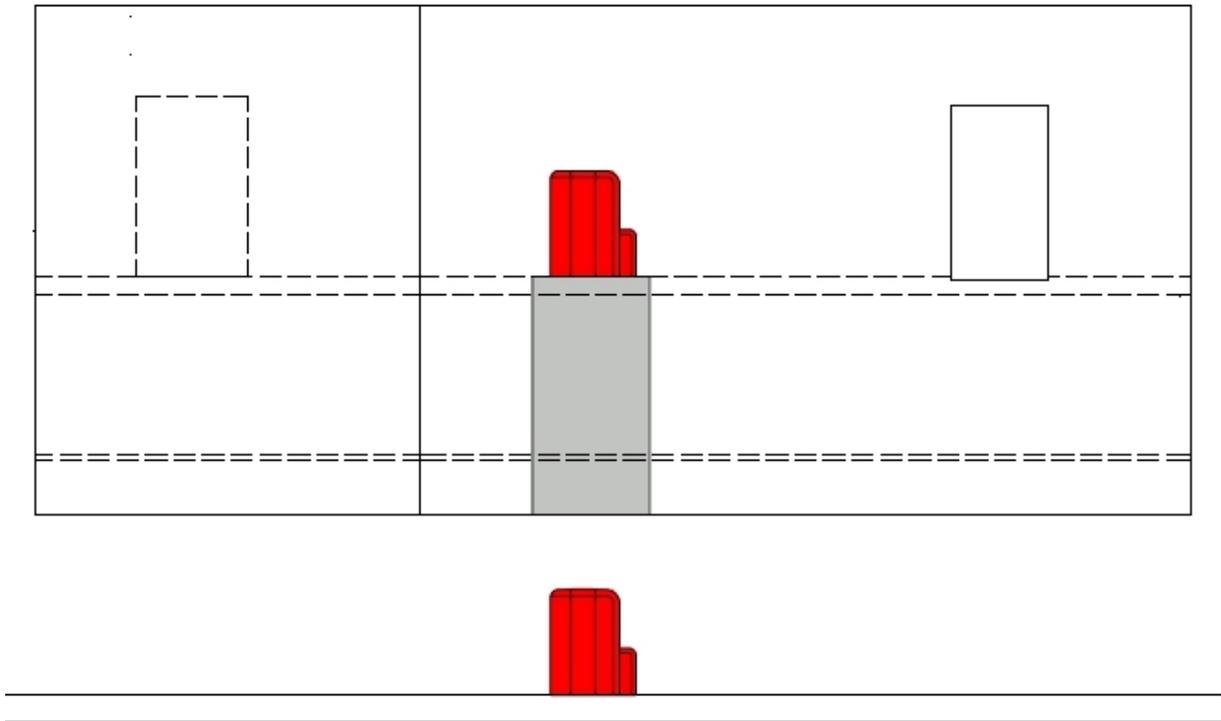


Abbildung 6: Sessellift – Skizze

Wie bei der oben gezeigten Variante handelt es sich auch hierbei um eine Art Fahrstuhl. Allerdings wird dieser nun nicht mit einem Fahrkorb ausgeführt. Vielmehr wird der Passagier mit Hilfe eines Sessels vom Flugzeugrumpf auf das Rollfeld transportiert. Er ähnelt somit den nachrüstbaren Treppenliften für gehbeeinträchtigte Personen. Während des Fluges wird der Sessel in das Kabineninterieur als Teil einer Sitzgruppe integriert. Der Sessel wird auf einer Plattform platziert. Diese wird mit einem - dem Fahrstuhl ähnlichen - System an Schienen bewegt. Ähnlich ist ebenfalls die Integration eines Schachtes, welcher mit der Flugzeugstruktur verbunden wird.

Der besondere Vorteil bei dieser Variante ist die optimale Nutzung des Sessels. Während des Fluges wird dieser als normaler Sessel in der Kabine benutzt, um dann beim Transport der wichtigen Passagiere aufs Rollfeld seine eigentliche Funktion zu offenbaren. Die Öffnung im Flugzeugrumpf kann wiederum sehr klein gehalten werden.

Allerdings sind die Transportierten bei dieser Variante zwischen Rumpf und Rollfeld den Witterungen ohne Schutz ausgesetzt. Außerdem kann maximal eine Person zur gleichen Zeit transportiert werden. Aufgrund der fehlenden Abdeckung zum Aufzugschacht steigt außerdem die Verletzungsgefahr für die Passagiere.

3.1.3 Rolltreppe

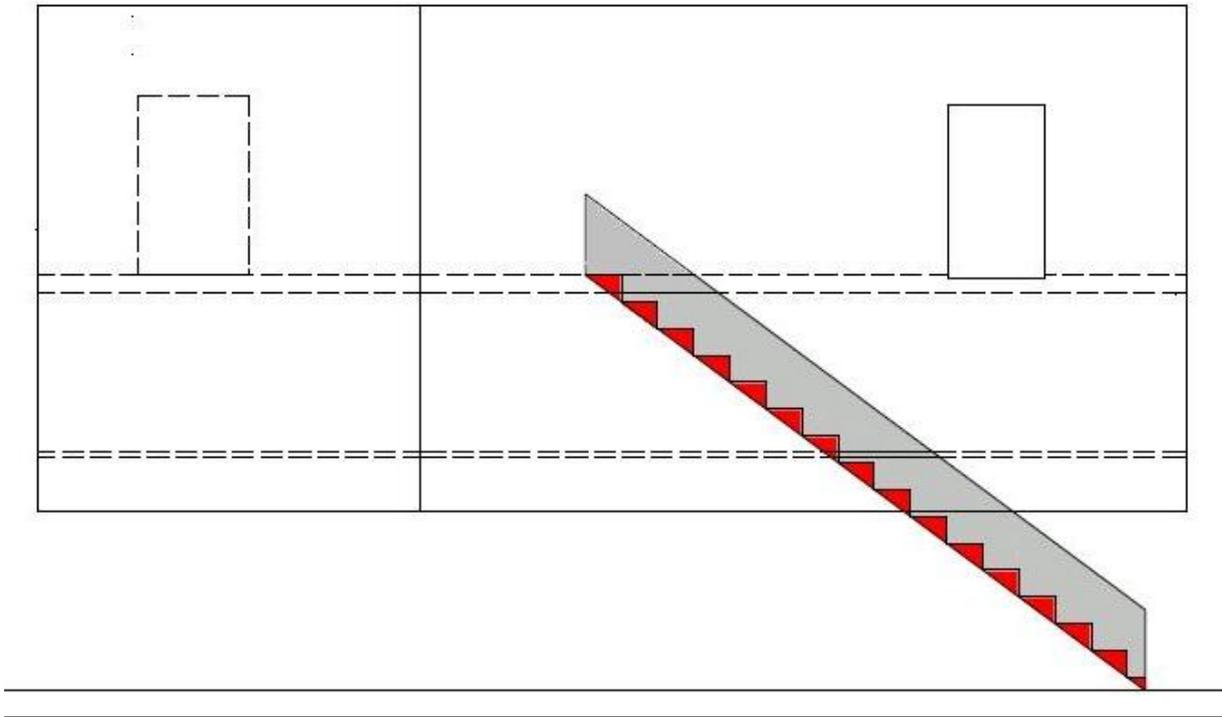


Abbildung 7: Rolltreppe – Skizze

Bei der letzten Möglichkeit handelt es sich um eine Rolltreppe, mit deren Hilfe die Passagiere befördert werden sollen. Um die Höhendifferenz zwischen dem Flugzeugrumpf und dem Rollfeld zu überbrücken, muss die Rolltreppe entweder klappbar oder ausfahrbar gestaltet werden. Um die Rolltreppe mit der Flugzeugstruktur zu verbinden, wird ebenfalls auf einen Schacht zurückgegriffen. Dieser wird allerdings nicht senkrecht, sondern schräg in das Flugzeug integriert.

Besonders positiv muss man bei dieser Variante den Transport von vielen Personen innerhalb kürzester Zeit hervorheben. Deshalb kann diese Konstruktion bei besonderen Anlässen auch als Ersatz bzw. zur Unterstützung der normalen Passagiertür benutzt werden. Außerdem hat der Passagier zu keiner Zeit das Gefühl, eingengt zu sein.

Allerdings müssen auch bei dieser Variante die Nachteile mit in Betracht gezogen werden. Durch die geringe zulässige Steigung bei Rolltreppen muss man im Vergleich zu den beiden anderen Varianten eine relativ große Öffnung in den Flugzeugrumpf einbringen. Da es sich dabei um einen Druckrumpf handelt, ist dies als überaus nachteilig zu bewerten. Des Weiteren sind Passagiere sowohl dem Wetter als auch der Verletzungsgefahr durch die fehlende Abdeckung ausgesetzt.

3.2 Entscheidungsprozess

Der eigentliche Entscheidungsprozess gliedert sich nun in die folgenden Schritte:

- Identifizieren der wichtigen Kriterien
- Beschreiben dieser Kriterien
- Gewichten der Kriterien
- Bewerten der Kriterien bei den verschiedenen Varianten
- Gesamtpunktzahlen berechnen
- Zusammenfassen der Ergebnisse in einer Nutzwertanalyse

Zuerst müssen die wichtigsten Kriterien erkannt werden. Um Missverständnisse zu vermeiden, werden diese noch einmal genauer beschreiben. Daraufhin wird festgelegt, wie wichtig die einzelnen Merkmale sind. Diese Entscheidung wird unabhängig von den möglichen Lösungswegen getroffen. Erst wenn die Gewichtung aller Kriterien abgeschlossen wurde, können nun die einzelnen Varianten mit den Zahlen eins bis zehn bewertet werden. Die Eins steht hierbei für eine schlechte Leistung, während die Zehn als sehr gut gewertet werden kann. Dann werden die Gewichtungen und Bewertungen miteinander multipliziert. Nur so kann realistisch abgeschätzt werden, welche Variante die Beste ist. Um anschließend ein Gesamtergebnis zu erreichen, werden alle Einzelergebnisse addiert. Die Variante mit den meisten Punkten sollte im weiteren Konstruktionsprozess bevorzugt werden.

3.2.1 Wichtige Kriterien

Für den eigentlichen Entscheidungsprozess werden nun die wichtigen Kriterien und Merkmale dargestellt. Dies ist relevant, da man bestimmte Eigenschaften nur bewerten kann, wenn man sich deren Bedeutung bewusst ist.

Bedienfreundlichkeit

Für den Benutzer des Boarding Device ist es wichtig, dass dessen Bedienung möglichst einfach und intuitiv möglich ist. Darum sollte die Anzahl der Bedienmöglichkeiten so groß wie nötig, aber so gering wie möglich gehalten werden.

Wetterschutz

Zwischen Boden und Beginn des Rumpfes bietet das Flugzeug keinen Schutz gegen Weterereinwirkungen. Bei diesem Kriterium gilt es nun zu bewerten, ob eine andere Möglichkeit vorhanden ist, den Passagier gegen Regen, Schnee, Wind usw. zu schützen.

Verbleibender Platz in der Kabine

Durch die Installation des Boarding Device geht zwangsläufig Platz in der Kabine verloren. Wenn nun bei einer der Lösung sehr viel und bei einer anderen Lösung sehr wenig Platz verloren geht, so ist dies als negativ bzw. positiv zu bewerten.

Lichte Höhe

Unter Lichte Höhe versteht man hier die Höhe, welche dem Passagier zum Verlassen des Boarding Device zur Verfügung steht. Sie entscheidet ähnlich wie bei einem Türrahmen darüber, ob der Passagier beim Verlassen des Flugzeuges das Boarding Device komfortabel benutzen kann oder ob er den Kopf einziehen muss. Bei der Bewertung wirkt sich eine große Lichte Höhe positiv aus.

Position in der Kabine

Die Positionierung des Boarding Device innerhalb der Kabine stellt einen weiteren wichtigen Gesichtspunkt dar. Sie sollte möglichst so platziert werden, dass die meisten schon vor der Modifikation vorhandenen Gegenstände und Möbelstücke beibehalten werden können.

Passagiere pro Zeiteinheit

Hiermit ist die Anzahl der Passagiere gemeint, welche in einem bestimmten, bei jeder Variante gleichen Zeitabschnitt, das Flugzeug betreten oder verlassen kann. Zu Beachten ist hierbei, dass das Boarding Device nicht als Ersatz für die normale Passagiertür dienen soll, sondern eine Alternative zu dieser nur für bestimmte Passagiere darstellt.

Abmessungen

Bei den Abmessungen gilt das oben schon kurz erwähnte Prinzip „je größer, desto besser“. Die Passagiere, welche den A340 über das neue Boarding Device betreten oder verlassen wollen, sollen so komfortabel wie möglich transportiert werden. Dieser Komfort wird unter anderem durch ausreichend große Abmessungen der Konstruktion erreicht.

Schutz durch Abdeckung

Für die Sicherheit der Passagiere, welche die neue Konstruktion benutzen ist es unumgänglich zu wissen, ob eventuelle Gefahren durch eine entsprechende Abdeckung gemindert werden. Hierunter versteht man Abdeckungen, welche den Passagier von sich bewegenden Teilen trennen oder welche den sich bewegenden Passagier vor feststehenden Teilen schützen.

Verletzungsrisiko beim Benutzen

Unter dem Verletzungsrisiko beim Benutzen versteht man die Gefahr, in welche sich der Passagier beim Benutzen des Boarding Device begibt. Da es sich hierbei um sehr weit gefächerte Gefahren handeln kann, ist bei der Bewertung besondere Weitsicht unumgänglich.

Verletzungsrisiko für Andere

Hierbei handelt es sich um das Risiko, welches andere Personen, die sich innerhalb oder außerhalb des Flugzeugs befinden, betrifft. Das kann ein möglicher Sturz in einen Fahrstuhl-schacht sein, oder auch eine sich aus dem Flugzeugrumpf in Richtung Boden bewegende Masse.

Verletzungsrisiko im verstauten Zustand

Unter diesem Gesichtspunkt sollen die Gefahren betrachtet werden, welche von dem Boarding Device ausgehen, wenn es sich im verstauten Zustand befindet. Hierfür ist wichtig, ob man die neue Konstruktion verstauen kann, ohne dass sie während des normalen Flugbetriebes störend auffällt.

Wartbarkeit

Wie in den Anforderungen schon erwähnt spielt die Wartbarkeit für den Flugbetrieb eine sehr wichtige Rolle. Um den normalen Flugalltag so wenig wie nur möglich durch die Integration des neuen Boarding Device zu beeinflussen, ist es wichtig, weniger notwendige Wartungen als besser zu bewerten.

Zuverlässigkeit

Nicht außer Acht lassen darf man zudem die Zuverlässigkeit des Boarding Device. Hierbei ist es unumgänglich dafür zu sorgen, dass ein eventueller Schaden am Boarding Device keinerlei Einfluss auf den Rest des Flugzeugs hat. Eine mögliche Fehlfunktion der neuen Konstruktion darf also in keinem Fall eine Beeinträchtigung des Gesamtflugzeugs zur Folge haben. Des Weiteren muss die Möglichkeit, dass sich der transportierte Passagier bei einer Notsituation nicht selbst befreien kann, als negativ bewertet werden.

Veränderung von Masse und Schwerpunkt

Die Veränderung der Masse steht mit der Veränderung des Schwerpunktes in kausalem Zusammenhang. Sowohl unabhängig als auch abhängig voneinander sollten beide Veränderungen möglichst gering gehalten werden. Die Masse sollte möglichst klein bleiben, da eine Vergrößerung zum einen ein schlechteres Flugverhalten und zum anderen eine komplexe Strukturveränderung zur Folge hätte. Der Schwerpunkt sollte ebenfalls nicht großartig verändert werden. Dies hätte ein völlig verändertes Flugverhalten zur Folge, welches nur durch eine entsprechend ausgeklügelte Beladungstechnik wieder normalisiert werden könnte.

Mechanische Komplexität

Unter der mechanischen Komplexität versteht man die Art der konstruktiven Ausführung des Boarding Device. Eine einfache Konstruktion wird hierbei bevorzugt, da diese sich sowohl auf die Wartung als auch auf die Zuverlässigkeit positiv auswirkt.

Verstaungsposition

Hierunter versteht man die Position, in der das Boarding Device während des Fluges verstaut wird. Positiv bewertet wird bei diesem Gesichtspunkt eine Verstauposition, welche die Abläufe innerhalb der Kabine nicht beeinflusst. Wird man jedoch bei Aufenthalt in der Kabine ständig durch die Präsenz der verstaute Neukonstruktion gestört, so werden weniger Punkte vergeben.

Anzahl der Komponenten

Dieser Gesichtspunkt steht in engem Zusammenhang mit der mechanischen Komplexität. Hier werden wenige Komponenten ebenfalls bevorzugt, da dies einen positiven Einfluss auf Wartbarkeit und Zuverlässigkeit hat.

Schwierigkeitsgrad des Verstauens

Der Schwierigkeitsgrad des Verstauens sollte so gering wie möglich gehalten werden, da das Boarding Device den Komfort für den Passagier erhöhen soll. Somit ist es nicht akzeptabel, wenn der Aufwand, bis das Boarding Device verstaut werden kann, zu groß wird.

Anzahl der Rumpfveränderungen

Eine geringe Zahl an notwendigen Rumpfveränderungen wird positiv gewertet. Jede Veränderung zieht eine entsprechend Neuberechnung sowie eine Neukonstruktion nach sich. Um diese Kosten so gering wie möglich zu halten, sollten auch die notwendigen Änderungen gering gehalten werden.

Notwendiger Platz im Frachtraum

Je weniger Platz die neue Konstruktion im Frachtraum beansprucht, umso besser. Aufgrund der hier genannten Version des A340 ist dieser Gesichtspunkt allerdings nicht so kritisch wie bei konventionellen Passagierflugzeugen, welche auf den gesamten Frachtraum angewiesen sind.

Zugänglichkeit

Die Zugänglichkeit des Boarding Device spielt sowohl für die Wartung als auch für eine eventuelle Notfallsituation eine übergeordnete Rolle. Für die Wartung ist sie wichtig, da nur so eine kurze Wartungsdauer und somit geringere Kosten gewährleistet werden können. Um die Befreiung von Passagieren in Notsituationen zu ermöglichen, muss für einen entsprechenden Notzugang gesorgt werden.

Integration in das Kabinendesign

Um den Ansprüchen des Kunden gerecht zu werden ist es unumgänglich, das Boarding Device in das bestehende Kabinendesign zu integrieren. Das ist bei bestimmten Alternativen einfacher, bei anderen wiederum nur sehr schwierig möglich.

Aufwand bis zur Betriebsbereitschaft

Um die Geduld der Passagiere nicht zu strapazieren, sollte die Zeitspanne zwischen dem Rufen des Aufzuges und dem eigentlichen Beginn der Fahrt so kurz wie möglich sein. Der Auftraggeber hat hierzu auch eine konkrete Forderung gestellt.

Einschränkungen außerhalb

Je nachdem, welche Fläche das gewählte Boarding Device benötigt, werden im äußeren Bereich des Flugzeuges Einschränkungen notwendig. Diese sollten so gering wie möglich gehalten werden, um wiederum die Abwicklung an den Flughäfen nicht zu stören.

Anzahl der Änderungen

Je weniger Änderungen am Rumpf ausgeführt werden müssen, umso leichter gestalten sich die Zulassung der Neukonstruktion und die damit verbundenen Veränderungen.

Anzahl von Ground Support Equipment

Je mehr Teile man als Ground Support Equipment (GSE) zulassen kann, umso leichter wird der Zulassungsprozess. Dies trifft auf Teile zu, welche nur bei stillstehendem Flugzeug betrieben werden.

Herstellerekosten

Unter den Herstellerekosten versteht man die Kosten, welche bei der Fertigung des Boarding Device entstehen. Da es sich hierbei um einmalige Kosten handelt, ist ihre Wichtigkeit als geringer anzusehen.

Modifizierungskosten

Bei den Modifizierungskosten wird dieselbe Bewertung wie bei den Herstellerekosten angewendet. Es gilt ebenfalls das Prinzip der Einmaligkeit, da die Kosten nur zu Beginn Lebenszyklus auftreten.

Konstruktionskosten

Die Konstruktionskosten fallen wiederum durch ihre Einmaligkeit auf. Allerdings sind sie noch geringer als die Modifizierungs- und Herstellerekosten anzusetzen, da sich die Konstruktion bei verschiedenen Boarding Devices nur geringfügig ändert.

Betriebskosten und Wartungskosten

Im Gegensatz zu den bisher aufgeführten Kosten handelt sich bei den Betriebskosten und den Wartungskosten um Kosten welche ständig auftreten. Da sich diese konstant auf die Kostenstruktur niederschlagen sind sie bedeutend wichtiger als die bis aufgeführten Kosten.

3.2.2 Bewertung der Kriterien

Hier werden die einzelnen Kriterien bezüglich ihrer Relevanz gewichtet, um im nächsten Abschnitt eine Nutzwertanalyse durchführen zu können.

Personenspezifische Merkmale		Gewichtung
- Komfort	- Benutzerfreundlichkeit	3,20%
	- Wetterschutz	3,20%
	- Verbleibender Platz in der Kabine	1,60%
	- Lichte Höhe	1,60%
	- Position in der Kabine	1,60%
	- Passagiere pro Zeiteinheit	1,60%
	- Abmessungen	3,20%
- Sicherheit	- Schutz durch Abdeckung	2,40%
	- Verletzungsrisiko beim Benutzen	7,20%
	- Verletzungsrisiko für Andere	7,20%
	- Verletzungsrisiko im verstaute Zustand	7,20%
Flugzeugspezifische Merkmale		
- Konstruktion	- Wartbarkeit	3,60%
	- Zuverlässigkeit	6,00%
	- Veränderung von Masse und Schwerpunkt	2,40%
- Komplexität	- Mechanische Komplexität	1,80%
	- Verstauungsposition	0,90%
	- Anzahl der Komponenten	2,70%
	- Schwierigkeitsgrad des Verstauens	0,90%
	- Anzahl der Rumpfveränderungen	2,70%
- Komfort	- Notwendiger Platz im Frachtraum	2,70%
	- Zugänglichkeit	2,70%
	- Integration in Kabinendesign	0,90%
	- Aufwand bis zur Betriebsbereitschaft	1,80%
	- Einschränkungen außerhalb	0,90%
Hersteller- / Betreiberspezifische Merkmale		
- Zulassung	- Anzahl der Änderungen	4,80%
	- Anzahl von GSE	7,20%
- Kosten	- Herstellkosten	1,80%
	- Modifizierungskosten	1,80%
	- Konstruktionskosten	1,80%
	- Betriebskosten	7,20%
	- Wartungskosten	5,40%

3.2.3 Decision Table

Tabelle 1: Boarding Device – Decision Table

Merkmale		ges. Gew.	Aufzug	Gewichtung	Sessellift	Gewichtung	Rolltreppe	Gewichtung	
Personenspezifisch	Komfort	Benutzerfreundlichkeit	2	10	20	10	20	7	14
		Wetterschutz	2	10	20	1	2	1	2
		Verbleibender Platz in der Kabine	1	5	5	10	10	1	1
		Lichte Höhe	1	5	5	8	8	8	8
		Position in der Kabine	1	10	10	10	10	5	5
		Passagiere pro Zeiteinheit	1	8	8	2	2	10	10
		Abmessungen	2	10	20	5	10	5	10
	Total	10		88		62		50	
	Gesamtgewichtung	16%		14,08		9,92		8	
	Sicherheit	Schutz durch Abdeckung	1	10	10	1	1	1	1
		Verletzungsrisiko beim Benutzen	3	10	30	7	21	2	6
		Verletzungsrisiko für Andere	3	5	15	5	15	5	15
		Verletzungsrisiko im verstaute Zustand	3	7	21	10	30	1	3
		Total	10		76		67		25
Gesamtgewichtung	24%		18,24		16,08		6		
Flugzeugspezifisch	Konstruktion	Wartbarkeit	3	10	30	7	21	2	6
		Zuverlässigkeit	5	10	50	10	50	5	25
		Veränderung von Masse und Schwerpunkt	2	7	14	10	20	1	2
		Total	10		94		91		33
	Gesamtgewichtung	12%		11,28		10,92		3,96	
	Komplexität	Mechanische Komplexität	2	10	20	10	20	1	2
		Verstauungsposition	1	8	8	10	10	1	1
		Anzahl der Komponenten	3	10	30	7	21	2	6
		Schwierigkeitsgrad des Verstauens	1	8	8	10	10	1	1
		Anzahl der Rumpfveränderungen	3	10	30	10	30	2	6
		Total	10		96		91		16
	Gesamtgewichtung	9%		8,64		8,19		1,44	
	Komfort	Notwendiger Platz im Frachtraum	3	7	21	10	30	2	6
		Zugänglichkeit	3	10	30	7	21	2	6
Integration in Kabinendesign		1	8	8	10	10	4	4	
Aufwand bis zur Betriebsbereitschaft		2	10	20	10	20	1	2	
Einschränkungen außerhalb		1	10	10	10	10	1	1	
Total	10		89		91		19		
Gesamtgewichtung	9%		8,01		8,19		1,71		
Hersteller / Betreiber	Zulassung	Anzahl der Änderungen	4	10	40	8	32	2	8
		Anzahl von GSE	6	10	60	7	42	2	12
		Total	10		100		74		20
	Gesamtgewichtung	12%		0		0		0	
	Kosten	Herstellerekosten	1	8	8	10	10	1	1
		Modifizierungskosten	1	10	10	10	10	2	2
		Konstruktionskosten	1	10	10	8	8	2	2
		Betriebskosten	4	10	40	10	40	8	32
		Wartungskosten	3	10	30	8	24	3	9
		Total	10		198		166		66
Gesamtgewichtung	18%		35,64		29,88		11,88		
Total %			100 %	95,9		83,2		33	

3.2.4 Zusammenfassung

Aus der obigen Decision Table kann nun die Variante, welche das beste Ergebnis verspricht, ausgewählt werden. In diesem Fall handelt es sich um den konventionellen Fahrstuhl. Mit 95,9 Punkten liegt er vor der Variante des Sesselliftes, welche nur 83,2 Punkte erzielen konnte. Die Rolltreppe ist mit 33 Punkten weit abgeschlagen.

Man kann aber nicht nur den Gesamtsieger aus der Decision Table ermitteln, sondern auch feststellen, in welchen Bereichen der Sieger gepunktet hat und auf welche Stellen während der Konstruktion besonders geachtet werden muss. Hierbei wird deutlich, dass der Aufzug in den Bereichen Sicherheit und personenspezifischer Komfort sowie Zulassung und Kosten vergleichsweise viele Punkte erzielen konnte. Bei der Konstruktion und der Komplexität ist der Vorsprung weniger ausgeprägt, während der flugzeugspezifische Komfort bei der Sesselliftvariante am besten abgeschnitten hat.

Dieses Ergebnis kann man wie folgt begründen: Gerade im Bereich der Sicherheit ist der Aufzug mit Kabine unschlagbar. Das liegt daran, dass der Passagier durch die Kabine sehr gut geschützt ist. Diesen besonderen Schutz kann keine der anderen Varianten aufbringen. Der Komfortvorsprung ergibt sich vor allem aus dem Wetterschutz. Bei den anderen Varianten ist der Passagier zwischen Flugzeugrumpf und Rollbahn den Witterungsbedingungen schutzlos ausgeliefert. Dies wird beim Fahrstuhl durch den Fahrkorb verhindert. Bei der Zulassung stellt sich wiederum die Fahrstuhlvariante als die beste Wahl heraus, da man bei ihr die meisten Teile als GSE zulassen kann. Das ist bei der Sesselliftvariante nicht möglich, da dabei der Sessel auch während des Fluges benutzt wird. Die Voraussetzung zur Zulassung als GSE ist allerdings, dass die Komponenten nur bei stillstehendem Flugzeug benutzt werden. Bei den Kosten stellen sich vor allem Konstruktions- und Wartungskosten als positiv heraus. Die Konstruktion gestaltet sich dadurch einfacher, dass man auf Lösungen aus dem normalen Personenaufzugsbereich zurückgreift. Die Wartungskosten können durch hohe Erfahrungswerte in diesem Bereich ebenfalls reduziert werden. Bei dem flugzeugspezifischen Komfort schneidet die Sesselliftvariante besser ab. Das liegt besonders an zwei Teilbereichen. Zum einen an der Integration in das Kabinendesign und zum anderen am notwendigen Platz im Frachtraum. Da der Sessel in der Kabine weiter verwendet werden kann, fügt er sich bedeutend besser in das bestehende Kabinendesign ein. Hierbei müssen demnach keinerlei Abstriche gemacht werden. Auf Grund dieser besonderen Verstauposition während des Fluges wird auch im Frachtraum weniger Platz benötigt – was sich wiederum positiv auf die Sessellift-Variante auswirkt.

Wenn aber das Gesamtbild in Betracht gezogen wird, schneidet der konventionelle Fahrstuhl mit den meisten Punkten ab und ist bei der Konstruktion somit auch die Variante, welche gewählt wird.

4 Konstruktive Ausarbeitung

Nachdem im vorigen Absatz die Entscheidung für die Konstruktion als konventioneller Personenaufzug gefallen ist, kann nun mit der eigentlichen konstruktiven Ausarbeitung begonnen werden. Hierfür sollen in diesem Abschnitt für die Komponenten des Fahrstuhls die folgenden Bereiche bearbeitet werden:

- Grundkonfiguration
- Anforderungen
- Auslegung und Berechnung
- konstruktive Umsetzung

Der Abschnitt Grundkonfiguration soll einen ersten Überblick über die grundsätzliche Funktionsweise des Boarding Device darstellen. Hierfür muss das Konzept der einzelnen Komponenten erläutert werden. Verdeutlicht werden soll dies mit Hilfe von einfachen Zeichnungen und Skizzen. Im darauf folgenden Kapitel Anforderungen sollen aus den relevanten Normen die auf das Boarding Device zutreffenden herausgefiltert und dargestellt werden. Mit Hilfe der aus den Normen entnommenen notwendigen Bedingungen soll nun im Bereich Auslegung und Berechnung die rechnerische Auslegung der einzelnen Komponenten erfolgen. Hierbei sollen die einzelnen Berechnungsschritte zuerst allgemein erläutert werden. Erst dann können die einzelnen Berechnungsergebnisse in entsprechenden Tabellen dargestellt werden.

4.1 Grundsätzliche Konfiguration

Wie im vorigen Abschnitt schon erwähnt, sind für die Konstruktion des Fahrstuhls bestimmte Normen zu beachten. Da der Fahrstuhl ähnlich einem normalen Personenaufzug ausgeführt werden soll, sind hierfür die folgenden Normen relevant:

- **DIN EN 81-1 2000**
- **TRA 5.1300 1994**

Bei der **DIN EN 81-1 2000** handelt es sich um die Sicherheitsregeln, welche die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen beschreiben. Die Anforderungen in dieser Norm umfassen unter anderem gewöhnliche Personenaufzüge. Die enthaltenen Informationen sind somit für dieses Projekt relevant.

Die **TRA 5.1300 1994** beschreibt die Konstruktion von vereinfachten Personenaufzügen. Es handelt sich hierbei um Aufzugsanlagen, die dazu bestimmt sind, Personen zu befördern. Ihre Tragfähigkeit darf 630 kg, ihre Fahrkorbgrundfläche $1,66 \text{ m}^2$ sowie ihre Betriebsgeschwindigkeit $0,2 \text{ m/s}$ nicht übersteigen. Die folgenden Hauptmerkmale sind entscheidend:

- **Absturzsicherung**
 - erforderlich
 - zulässig sind: Fangvorrichtungen
Rohrbruchsicherung
Stützmutter

- **Antriebsarten**
 - Treibscheibe
 - Seiltrommel
 - Hydraulik
 - Kettenrad
 - Spindel
 - Zahnstange

- **Aufstellungsort**
 - keine Einschränkungen

- **Betriebsgeschwindigkeit**
 - Beschränkungen $< 0,2$ m/s

- **Fahrkorbgrundfläche**
 - von Tragfähigkeit abhängig
 - max. $1,1 \times 1,4$ m Grundfläche
 - max. $< 1,66$ m²

- **Schachtwände**
 - falls vom Baurecht keine Auflagen gemacht werden, unfallsichere Umwehrung

- **Förderhöhe**
 - keine Beschränkungen

- **Gegengewicht:**
 - bei Treibscheibenantrieb erforderlich
 - bei Trommelantrieb unzulässig

- **Tragfähigkeit**
 - Beschränkung < 630 kg

- **Tragmittel**
 - Drahtseile
 - Stahlgelenkketten
 - Spindeln
 - Zahnstangen

Des Weiteren ist es wichtig zu erwähnen, dass die in den Technischen Regeln für Aufzüge angeführten Normen des Deutschen Instituts für Normung oder anderer technischer Regeln beispielhaft gelten und andere ebenso sichere Regeln nicht ausschließen. Dies ist wichtig für die Konstruktion, da bestimmte Anforderungen nicht mit der Integration in ein Flugzeug kompatibel sind.

Die konstruktive Umsetzung des Fahrstuhls soll in dieser Diplomarbeit nur Komponenten, welche den Fahrstuhl direkt betreffen, betrachten. Im nächsten Abschnitt findet man somit folgende Fahrkorbteile wieder:

- Fahrkorb
- Fahrkorbtüren
- Antrieb
- Führungsschienen
- Schacht

4.2 Fahrkorb

4.2.1 Fahrkorb – Grundkonfiguration

Die für Passagiere wichtigste Komponente des Fahrstuhls ist der Fahrkorb. Um Gewicht zu sparen soll dieser aus zwei grundsätzlichen Teilen gefertigt werden, einem Rahmengerüst und der Verkleidung. Beide sollen aus der Aluminiumlegierung 7075 gefertigt werden. Das Rahmengerüst hat folgende wichtige Aufgaben: Es nimmt zum einen alle Kräfte, die zwischen den Fahrkorbkomponenten übertragen werden, auf. An ihm werden außerdem im weiteren Verlauf die Verbindungselemente zu den Führungsschienen befestigt, um diese Übertragung der Kräfte gewährleisten zu können. Außerdem werden nicht nur die seitliche Verkleidung, sondern auch die Türen, sowie Boden und Decke angebracht. Der Boden übernimmt die übliche Aufgabe der Belastungsaufnahme, welche durch die Passagiere während des Transportes senkrecht nach unten entsteht. Die Decke hat auf den ersten Blick eine weniger wichtige Funktion. Sie soll den Fahrkorb nach oben abschließen. Bei genauerer Betrachtung wird aber klar, dass auch die Fahrkorbdecke komplexe Aufgaben übernimmt. Sie muss einerseits mit einer Notevakuierungsklappe ausgerüstet sein, andererseits soll der Antrieb der Führungsschienen integriert werden. Zusätzlich muss die Decke den Lasten der möglicherweise evakuierten Passagiere widerstehen.

Im Gegensatz zur Kraftweiterleitungsaufgabe des Rahmens hat die Verkleidung die Aufgabe, Passagiere während der Fahrt mit dem Fahrstuhl vor eventuellen Verletzungen zu schützen. Hierfür werden Platten von innen an das Rahmengerüst angebracht. Um das Gesamtgewicht des Fahrkorbes so gering wie möglich zu halten, sollen diese Platten möglichst dünn ausgeführt werden.

Für die weitere Auslegung des Fahrkorbes sind einige Informationen des Betreibers wichtig. Aus den im Kapitel 2.1.2 beschriebenen Anforderungen des Betreibers geht hervor, dass die Fahrkorbgrundfläche für zwei Personen ausgelegt werden soll. Diese Anforderung muss bei der Betrachtung der beiden Normen

- **DIN EN 81-1 2000**
- **TRA 5.1300 1994**

betrachtet werden. Die genauen geometrischen Abmessungen müssen diesen Normen entnommen werden. Die Fahrkorböffnung soll in Flugrichtung links angebracht werden. Das ist darin begründet, dass der Eingang sowohl in der Kabine als auch auf dem Rollfeld frei zugänglich ist. Das Tor, welches für den Fahrkorb in den Rumpf eingebracht werden muss, soll sich in Flugrichtung öffnen lassen. Ein ungewolltes Öffnen während des Fluges wird somit verhindert.

4.2.2 Fahrkorb – Anforderungen

In diesem Abschnitt sollen nun die für den Fahrkorb relevanten Anforderungen zusammengefasst werden. Diese werden aus der **TRA 5.1300 1994** Abschnitt 1340 bis 1349 und der **DIN EN 81-1 2000** Kapitel 8 entnommen.

Fahrkorbgröße und Tragfähigkeit

- *Als Fahrkorbgrundfläche gilt die von Fahrkorbwänden und Fahrkorbtüren umgrenzte Bodenfläche. (TRA 5.1300 1994)*
- *Die lichte Höhe des Fahrkorbes muss mindestens 1,8 m betragen. (TRA 5.1300 1994)*
- *Um die Überlastung des Fahrkorbes mit Personen zu verhindern, muss die Nutzfläche des Fahrkorbes begrenzt sein. Dazu ist das Verhältnis zwischen Nennlast und größter Nutzfläche des Fahrkorbes in Tabelle 2 angegeben. (TRA 5.1300 1994)*

Tabelle 2: Fahrkorb – Nennlast / Nutzfläche (TRA 5.1300 1994)

Nennlast Masse [kg]	Größte Nutzfläche des Fahrkorbes [m ²]	Nennlast Masse [kg]	Größte Nutzfläche des Fahrkorbes [m ²]
100 ¹⁾	0,37	900	2,20
180 ²⁾	0,58	975	2,35
225	0,70	1000	2,40
300	0,90	1050	2,50
375	1,10	1125	2,65
400	1,17	1200	2,80
450	1,03	1250	2,90
525	1,45	1275	2,95
600	1,06	1350	3,10
630	1,66	1425	3,25
675	1,75	1500	3,40
750	1,90	1600	3,56
800	2,00	2000	4,20
825	2,05	2500	5,00

1) Minimum für einen 1-Personen-Aufzug
2) Minimum für einen 2-Personen-Aufzug

Für Zwischenwerte der Nennlast kann die Nutzfläche linear interpoliert werden

Tabelle 3: Fahrkorb – Personen / Nennlast (TRA 5.1300 1994)

Anzahl der Personen	Minimale Nutzfläche im Fahrkorb m ²	Anzahl der Personen	Minimale Nutzfläche im Fahrkorb m ²
1	0,28	11	1,87
2	0,49	12	2,01
3	0,6	13	2,15
4	0,79	14	2,29
5	0,98	15	2,43
6	1,17	16	2,57
7	1,31	17	2,71
8	1,45	18	2,85
9	1,59	19	2,99
10	1,73	20	3,13

Wände, Boden und Dach des Fahrkorbes

- *Der Fahrkorb muss vollständig von nicht durchbrochenen Wänden, Boden und Dach umschlossen sein. Es sind nur folgende Öffnungen zulässig:*
 - Fahrkorbzugänge*
 - Klappen und Nottüren*
 - Lüftungsöffnungen (DIN EN 81-1 2000)*
- *Wände, Fußboden und Dach müssen eine genügende mechanische Festigkeit haben. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Wände, Fußboden und Dach dürfen nicht aus Werkstoffen bestehen, die durch ihre zu leichte Entflammbarkeit oder durch die durch sie entstehende Art und Menge von Gasen und Rauch gefährlich werden können. (DIN EN 81-1 2000)*
-

Fahrkorbwände

- *Fahrkorbwände müssen eine mechanische Festigkeit haben, so dass eine vom Inneren des Fahrkorbes nach außen senkrecht zur Wand gleichmäßig verteilt angreifende Kraft von 300 N die Wand*
 - weder bleibend verformt*
 - noch um mehr als 15 mm elastisch verformt. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Der Fahrkorb muss Wände aus festem Werkstoff haben. Gelochte Bleche mit bis zu 1cm² großen Durchbrechungen und Glaswände, die in Dicke und Glasart der Nummer 1303.2 Abs. 2 entsprechen, sind zulässig. (TRA 5.1300 1994)*
-

Fahrkorbdecke

- *Der Fahrkorb muss mit einer betretbaren Fahrkorbdecke versehen sein; diese muss eine mindestens 0,12 m² große freie Fläche mit einem kleinsten Seitenmaß von mindestens 0,25 m haben (TRA 5.1300 1994)*
- *Öffnungen in der Fahrkorbdecke müssen mit einem Abschluss versehen sein. Der Abschluss muss von außen ohne Hilfsmittel und darf von innen nur mit einem besonderen Schlüssel geöffnet werden können. Der Abschluss darf in geöffneter Stellung nicht über den Fahrkorbrand hinausragen. Klappen dürfen nur nach außen aufschlagen. (TRA 5.1300 1994)*

- *Das Fahrkorbdach muss an jeder Stelle die Last von zwei Personen, die mit je 1000 N auf einer Fläche von 0,2 m X 0,2 m anzunehmen ist, ohne bleibende Verformung aufnehmen können. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Sind Notklappen im Fahrkorbdach zur Rettung oder Befreiung von Personen vorhanden, müssen sie mindestens 0,35m X 0,5 m groß sein. (TRA 5.1300 1994)*
- *Notklappen müssen den folgenden Anforderungen genügen:*
- *Notklappen und Notübersteigtüren müssen Einrichtungen für die manuelle Verriegelung haben.*
- *Notklappen müssen sich von außerhalb des Fahrkorbes ohne Schlüssel und vom Fahrkorbinneren aus mit einem Schlüssel, der zum Dreikant nach Anhang B paßt, öffnen lassen. Die Notklappen dürfen nicht ins Innere des Fahrkorbes aufschlagen. In geöffnetem Zustand dürfen die Notklappen nicht über den Fahrkorbrand hinausragen. (TRA 5.1300 1994)*
-

Fahrkorbboden

- *Der Abstand zwischen der Vorderkante des Fahrkorbfußbodens und der Schachtwand darf innerhalb der Entriegelungszone nicht größer als 0,04 m sein. (TRA 5.1300 1994)*
-

Fahrkorbbelüftung

- *Fahrkörbe mit vollwandigen Fahrkorbtüren müssen im oberen und unteren Bereich Lüftungsöffnungen haben. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Die wirksamen Flächen der Lüftungsöffnungen im oberen und unteren Bereich des Fahrkorbes müssen mindestens je 1 % der Nutzfläche des Fahrkorbes betragen. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Spalte an den Fahrkorbtüren können bei der Flächenberechnung bis zu 50% der erforderlichen wirksamen Fläche berücksichtigt werden. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Lüftungsöffnungen müssen so ausgeführt oder angeordnet sein, dass ein runder, gerader Stab von 10 mm Durchmesser von innen nicht hindurch gesteckt werden kann. (DIN EN 81-1 2000)*

4.2.3 Fahrkorb – Auslegung und Berechnung

In diesem Kapitel sollen nun der Fahrkorb ausgelegt werden. Hierzu sollen Fahrkorbwände, Boden und Decke mit Hilfe der oben aufgeführten Normen berechnet werden. Für das Rahmengerüst sollen sinnvolle geometrische Abmessungen bestimmt werden.

Fahrkorb – Größe und Tragfähigkeit

Der folgenden Abbildung kann man den angestrebten Entwurf des Rahmens entnehmen. Er besteht aus einem Quader. Links und rechts werden für das Befestigen von Führungselementen Streben angebracht. im unteren und oberen Bereich des Fahrkorbes sind Decke und Boden integriert.

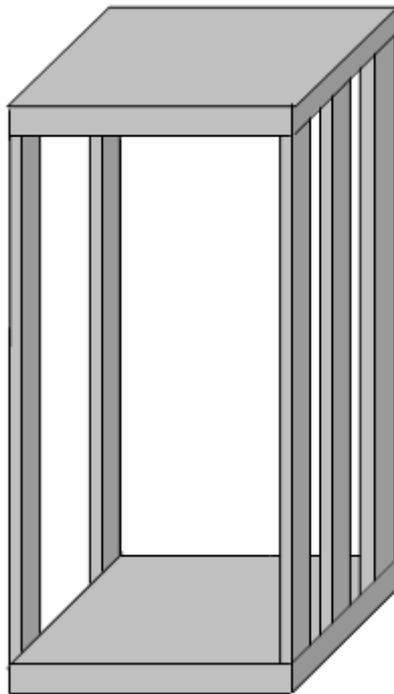


Abbildung 8: Fahrkorb – Rahmen

Um die konstruktive Auslegung beginnen zu können, muss als erstes die notwendige Grundfläche bestimmt werden. Hierzu werden aus Tabelle 4 und Tabelle 5 die minimale und maximale Grundfläche des Fahrkorbes entnommen.

Tabelle 4: Fahrkorb – Minimale Nutzfläche

Anzahl der Personen	Minimale Nutzfläche im Fahrkorb m ²	Anzahl der Personen	Minimale Nutzfläche im Fahrkorb m ²
1	0,28	11	1,87
2	0,49	12	2,01
3	0,6	13	2,15
4	0,79	14	2,29
5	0,98	15	2,43
6	1,17	16	2,57
7	1,31	17	2,71
8	1,45	18	2,85
9	1,59	19	2,99
10	1,73	20	3,13

Tabelle 5: Fahrkorb – maximale Nutzfläche

Nennlast Masse [kg]	Größte Nutzfläche des Fahrkobs [m ²]	Nennlast Masse [kg]	Größte Nutzfläche des Fahrkobs [m ²]
100 ¹⁾	0,37	900	2,20
180 ²⁾	0,58	975	2,35
225	0,70	1000	2,40
300	0,90	1050	2,50
375	1,10	1125	2,65
400	1,17	1200	2,80
450	1,03	1250	2,90
525	1,45	1275	2,95
600	1,06	1350	3,10
630	1,66	1425	3,25
675	1,75	1500	3,40
750	1,90	1600	3,56
800	2,00	2000	4,20
825	2,05	2500	5,00

1) Minimum für einen 1-Personen-Aufzug
2) Minimum für einen 2-Personen-Aufzug

Für Zwischenwerte der Nennlast kann die Nutzfläche linear interpoliert werden

Die mögliche Grundfläche soll demnach zwischen $0,49 \text{ m}^2$ und $0,90 \text{ m}^2$ liegen. Da die Komfortansprüche besonders beachtet werden sollen, ist die maximal mögliche Grundfläche die Relevante. Die Fläche soll also $0,9 \text{ m}^2$ entsprechen. Diese werden erreicht, indem eine Seite des Fahrkorbes mit 1000 mm ausgeführt wird, während die andere Seite 900 mm lang sein wird.

Nun ist es wichtig, die Höhe des Fahrkorbes festzulegen. Aus den Nomen wurde ebenfalls entnommen, dass der Fahrkorb eine Mindesthöhe von $1,8 \text{ m}$ besitzen muss. Aufgrund der sehr beengten Platzverhältnisse im Flugzeugrumpf sowie den hohen Komfortansprüchen wurde der Fahrkorb deshalb mit einer Außenhöhe von 2300 mm ausgelegt. Um Boden und Decke noch in den Rahmen integrieren zu können, wird für beide jeweils 100 mm vorgesehen. Die innere Höhe des Fahrkorbes beträgt demnach noch 2100 mm . Auf den Rahmen wirkt eine hohe Belastung. Damit er dieser widerstehen kann, legt man mit einer Rahmenbreite von 30 mm aus. Für die spätere Befestigung der Führungsschlitten werden die Stege mit einer Breite von 150 mm vorgesehen. Diese werden in Flugrichtung vorn doppelt und in Flugrichtung hinten einfach ausgeführt. Der Nutzen dieser Anordnung wird im Kapitel 4.5 aufgeführt.

Die genauen Abmessungen sind im Folgenden dargestellt:

Grundfläche

A = Flächeninhalt	=	$0,9 \text{ m}^2$
a = Lange Seite	=	1000 mm
b = Kurze Seite	=	900 mm

Höhe

H = Außenhöhe	=	2300 mm
h = Innenhöhe	=	2100 mm

Rahmen

a = Tiefe Rahmen	=	30 mm
b = Breite Rahmen	=	30 mm
c = Tiefe Schlittenbefestigung	=	150 mm
d = Breite Schlittenbefestigung	=	30 mm

Die Zuordnung der Maße kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

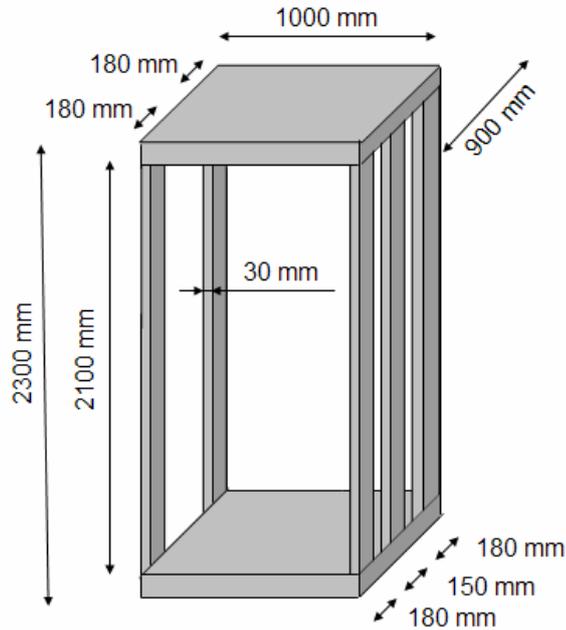


Abbildung 9: Fahrkorb – Abmessung Rahmen

Fahrkorbwände

Als nächstes müssen nun die Fahrkorbwände ausgelegt werden. Der Rahmen, an denen die Fahrkorbwände angebracht werden, besitzt bereits seine finalen Abmessungen. Somit wird nur noch die Dicke der Aluminiumplatten angepasst. Die Seiten, welche verkleidet werden, können der Abbildung 10 entnommen werden.

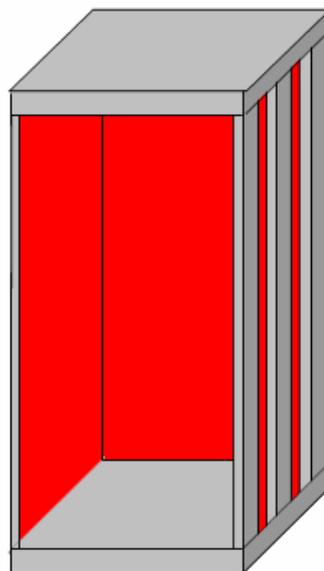


Abbildung 10: Fahrkorbwände – Position

Passend zur festgelegten Fahrkorbgrundfläche müssen die in der folgenden Abbildung gezeigten Verkleidungswände ausgelegt werden. Die Seitenwände haben eine Breite von 900 mm, die Rückwand eine Breite von 1000 mm. Alle drei Wände sollen mit einer Länge von 2100 mm ausgeführt werden.

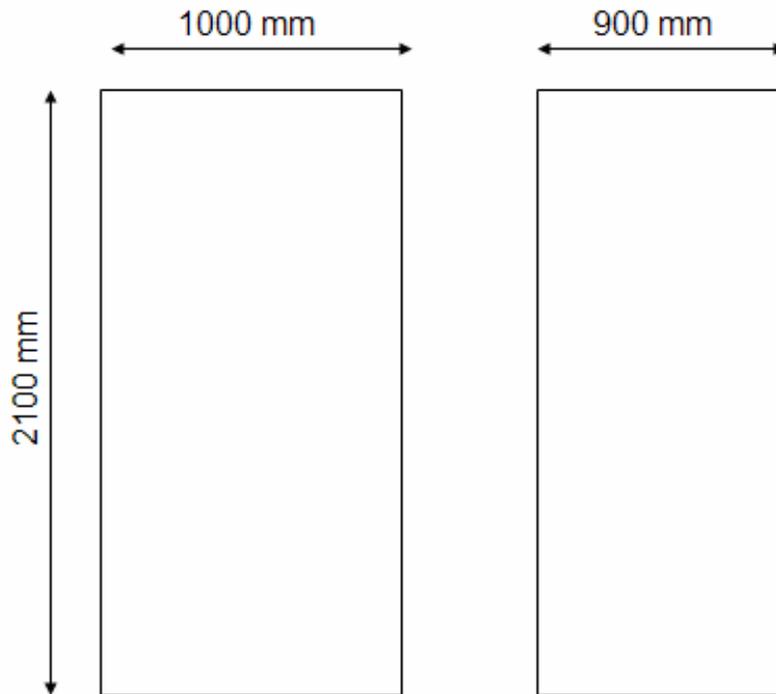


Abbildung 11: Fahrkorbwände – Abmessungen

Nun gilt es, die Dicke der Wände zu bestimmen. Da diese sich bei einer Kraft von 300 N weder bleibend verformen noch um mehr als 15 mm durchbiegen dürfen (**DIN EN 81-1 2000** Abschnitt 8) wird auf diese Anforderungen bei der Auslegung zurückgegriffen.

Die Berechnung der Durchbiegung wird nach **Dubbel 2007** (Abschnitt C5.1.1) durchgeführt. Es handelt sich dabei um die Berechnung der Durchbiegung beim Plattenbeulen einer fest eingespannten Platte. Hierfür sind diese Formelzeichen relevant:

f = Durchbiegung

c_3 = Faktor

p = Flächenlast

a = siehe Zeichnung

b = siehe Zeichnung

A = Flächeninhalt

E = E-Modul

h = Dicke der Platte

Die Seiten der Fahrkorbwände werden hierbei mit $2a$ und $2b$ beschrieben (Abbildung 12).

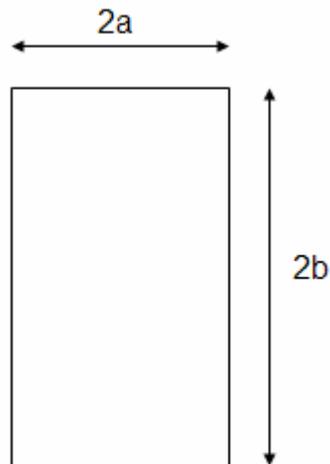


Abbildung 12: Fahrkorbwand – Prinzipskizze

Der Flächeninhalt der Fahrkorbwand berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$A = 2a \cdot 2b \quad (1)$$

Mit Hilfe des Flächeninhalts A und der angreifenden Kraft F kann nun die Flächenlast p berechnet werden.

$$p = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Theoretisch wäre nun die Berechnung der entstehenden Durchbiegung f möglich.

$$f = \frac{c_3 \cdot p \cdot b^4}{E \cdot h^3} \quad (3)$$

Diese Formel ergibt für eine bekannte Plattendicke eine gesuchte Durchbiegung. Um die hier gesuchte Plattendicke zu bestimmen, muss die Formel nun noch nach der Plattendicke h umgestellt werden.

$$h = \sqrt[3]{\frac{c_3 \cdot p \cdot b^4}{E \cdot f}} \quad (4)$$

Die Berechnung bezüglich der plastischen Verformung wird ebenfalls nach **Dubbel 2007** (Abschnitt C5.1.1) durchgeführt. Hierzu werden die Formeln zur Berechnung der Spannungen x- sowie y-Richtung sowie die Randspannung benötigt.

$$\sigma_x = \frac{c_1 \cdot p \cdot b^2}{h^2} \quad (5)$$

$$\sigma_y = \frac{c_2 \cdot p \cdot b^2}{h^2} \quad (6)$$

$$\sigma_{Rand} = \frac{c_5 \cdot p \cdot b^2}{h^2} \quad (7)$$

Diese Formeln werden dann wiederum so umgestellt, dass man die gesuchte Plattendicken berechnet werden kann.

$$h = \sqrt{\frac{c_1 \cdot p \cdot b^2}{\sigma_x}} \quad (8)$$

$$h = \sqrt{\frac{c_2 \cdot p \cdot b^2}{\sigma_y}} \quad (9)$$

$$h = \sqrt{\frac{c_5 \cdot p \cdot b^2}{\sigma_{Rand}}} \quad (10)$$

Für die Spannung σ_x , σ_y und σ_{Rand} wird jeweils die maximal zulässige Spannung im elastischen Bereich $\sigma_{zul} = \sigma_{0,01} = 140 \text{ MPa}$ eingesetzt.

Mit Hilfe der folgenden Faktoren:

Tabelle 6: Faktoren c_1 - c_5 in Abhängigkeit von a/b (Dubbel 2007 Abschnitt C5.1.1)

a/b	c1	c2	c3	c5
1	0,53	0,53	0,225	1,24
1,5	0,48	0,88	0,394	1,82
2	0,31	0,94	0,431	1,92
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
∞	0,3	1	0,455	2

ergeben sich für die beiden verschiedenen Wandtypen folgende Plattendicken als notwendig:

Tabelle 7: Fahrkorbwand – 2100mm x 1000mm

f mm	a mm	b mm	A mm ²	F N	p N/mm ²	E N/mm ²	h mm		
15	1050	500	2100000	300	0,000143	72400	1,52	h_1	Nachweis Durchbiegung
-	1050	500	2100000	300	0,000143	72400	0,28	h_2	Nachweis bleibende Verformung
-	1050	500	2100000	300	0,000143	72400	0,49	h_3	Nachweis bleibende Verformung
-	1050	500	2100000	300	0,000143	72400	0,70	h_4	Nachweis bleibende Verformung

Tabelle 8: Fahrkorbwand – 2100mm x 900mm

f mm	a mm	b mm	A mm ²	F N	p N/mm ²	E N/mm ²	h mm		
15	1050	450	1890000	300	0,000159	72400	1,37	h_1	Nachweis Durchbiegung
-	1050	450	1890000	300	0,000159	72400	0,27	h_2	Nachweis bleibende Verformung
-	1050	450	1890000	300	0,000159	72400	0,46	h_3	Nachweis bleibende Verformung
-	1050	450	1890000	300	0,000159	72400	0,66	h_4	Nachweis bleibende Verformung

Zu beachten ist, dass die Verkleidung wie der Fahrstuhl aus der Aluminiumlegierung 7075 gefertigt wird. Um eine einheitliche Plattendicke zu erhalten, wird die größte notwendige Dicke als die Relevante definiert. Die Plattendicke der Fahrkorbwände wird darum auf 2 mm festgelegt (Abbildung 13, Tabelle 9).

Tabelle 9: Fahrkorbwand – Abmessungen

Wand	h
2100 mm x 1000 mm	2 mm
2100 mm x 900 mm	2 mm

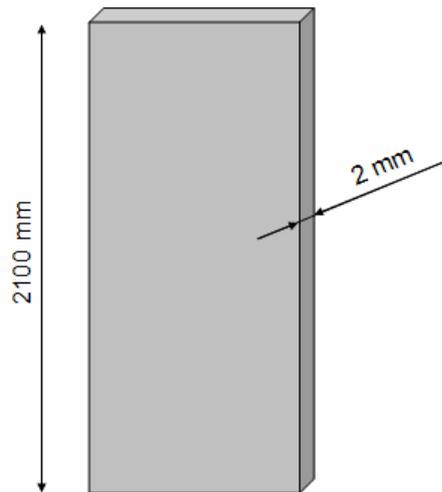


Abbildung 13: Fahrkobwand – Dicke

Fahrkorbdecke

In diesem Abschnitt soll nun die Fahrkorbdecke ausgelegt werden. Wie zuvor aufgeführt, muss diese verschiedene Anforderungen erfüllen. Wie Abbildung 14 zeigt, soll die Decke als Abschluss des Rahmengerüsts eingesetzt werden.

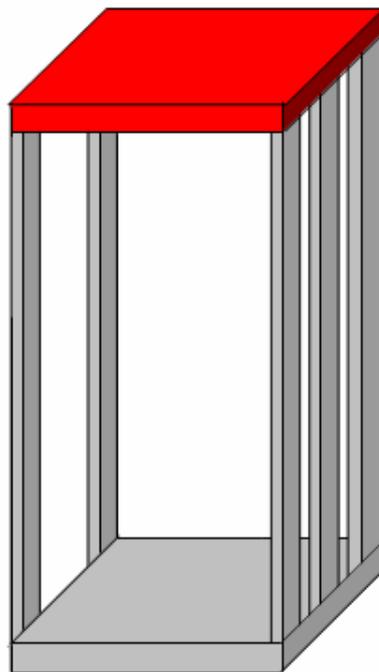


Abbildung 14: Fahrkorbdecke – Position

Durch die im letzten Abschnitt festgelegten Geometrien der Wände sind die eindimensionalen Abmessungen der Fahrkorbdecke definiert. Man kann diese der Abbildung 15 entnehmen.

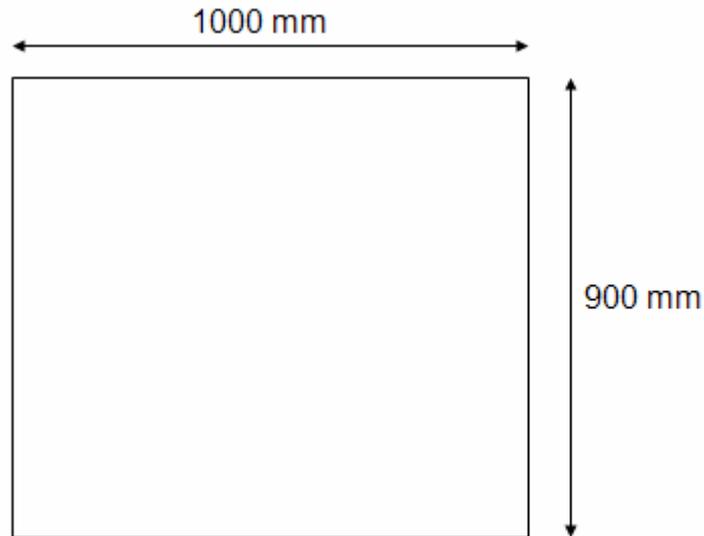


Abbildung 15: Fahrkorbdecke – Abmessungen

Ähnlich wie bei der Auslegung der Fahrkorbwände ist eine bleibende Verformung des betretbaren Teils der Fahrkorbdecke nicht zulässig. Nach **DIN EN 81-1 2000** (Abschnitt 8) muss das Ausbleiben plastischer Verformung auf einer Fläche von 0,2 m x 0,2 m nachgewiesen werden. Die Dicke der Deckenplatte wird mit demselben Verfahren die Auslegung der Fahrkorbwände nach **Dubbel 2007** (Abschnitt C5.1.1) errechnet.

Tabelle 10: Faktoren c_1 - c_5 in Abhängigkeit von a/b (Dubbel 2007 Abschnitt C5.1.1)

a/b	c_1	c_2	c_3	c_5
1	0,53	0,53	0,225	1,24
1,5	0,48	0,88	0,394	1,82
2	0,31	0,94	0,431	1,92
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
∞	0,3	1	0,455	2

Nach Gleichung (4) und (8) ergibt sich mit dem Verhältnis $\frac{a}{b} = \frac{200}{200} = 1$ und der

Tabelle 10 die folgende aus der Festigkeitsberechnung notwendige Höhe:

Tabelle 11: Fahrkorbdecke – Abmessungen

a mm	b mm	A mm ²	F N	p N/mm ²	E N/mm ²	h mm	
100	100	40000	2000	0,0500	72400	1,38	h ₁ Nachweis bleibende Verformung
100	100	40000	2000	0,0500	72400	1,38	h ₂ Nachweis bleibende Verformung

Die für die Festigkeit notwendige Dicke der Fahrkorbdecke beträgt 2 mm. Um die für den Schiebemechanismus notwendigen Elektromotoren unterbringen zu können, wird der Deckenrand auf 100 mm festgesetzt. Der innere Bereich hingegen besitzt eine Dicke von 20 mm (Abbildung 16).

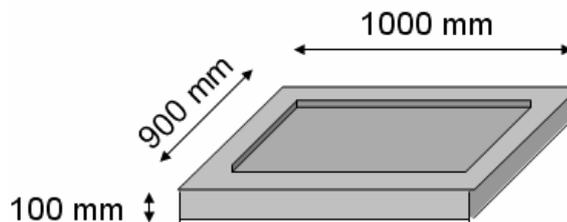


Abbildung 16: Fahrkorbdecke – Dicke

Wie in Abschnitt 4.2.2 deutlich wird, muss in die Fahrkorbdecke eine Klappe integriert werden, welche eine Notevakuierung ermöglicht. Diese wird bei der Konstruktion auf eine Fläche von 500 mm x 450 mm festgelegt. Die genaue Lage der Klappe kann der Abbildung 17 entnommen werden.

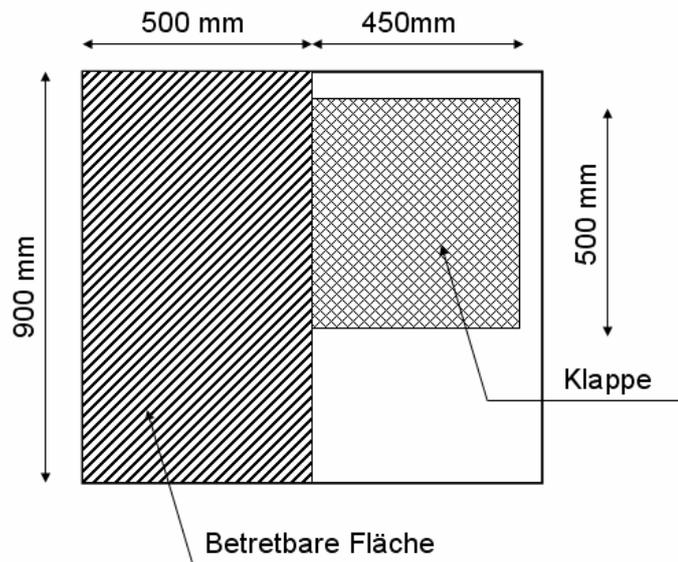


Abbildung 17: Evakuierungsklappe – Abmessungen

Fahrkorbboden

Ebenso wie die Decke soll der Fahrkorbboden den Abschluss des Rahmengerüsts bilden (Abbildung 18). Allerdings sind bei der konstruktiven Umsetzung weniger Anforderungen zu beachten, da die Notevakuierung über die Fahrkorbdecke vorgesehen ist.

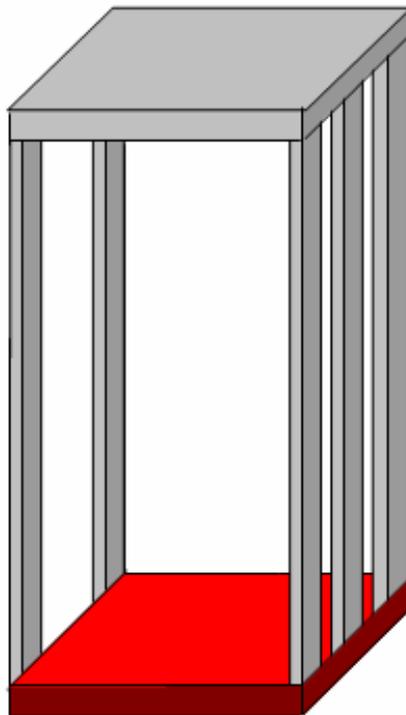


Abbildung 18: Fahrkorbboden – Position

Bei der Auslegung des Fahrkorbbodens müssen die in Abbildung 19 gezeigten Kräfte betrachtet werden. Bei der Kraft F_1 handelt es sich um die Kraft, welche durch das Beschleunigen des Fahrkorbes entsteht. Die Kraft F_2 entspricht der Gewichtskraft der transportierten Passagiere.



Abbildung 19: Fahrkorbboden – Kräfte

Aufgrund der relativ geringen Fahrstuhlbeschleunigung ist F_1 im Vergleich zu F_2 verschwindend gering. Deshalb wird die Kraft F_1 vernachlässigt. Die Gewichtskraft F_2 wird mit Hilfe der folgenden Formel unter Beachtung eines Sicherheitsfaktors berechnet.

$$F_2 = m \cdot g \cdot j \quad (11)$$

Mit den folgenden Werten:

m	= Nennlast	=	300 kg
g	= Erdbeschleunigung	=	9,81 m/s ²
j	= Faktor unvorhergesehene Dinge	=	1,5

ergibt sich die wirksame Kraft F_2 zu:

$$F = \text{auf den Boden wirkende Kraft} = 4415 \text{ N}$$

Die Berechnung der notwendigen Dicken erfolgt dann nach demselben Schema wie bei der Auslegung der Deckenplatte. Mit dem Verhältnis $\frac{a}{b} = \frac{1000}{900} = 1,11$ und der

Tabelle 13 ergibt sich demnach die folgende aus der Festigkeitsberechnung resultierende notwendige Dicke der Fußbodenplatte.

Tabelle 12: Fahrkorbboden – Abmessungen

a mm	b mm	A mm ²	F N	p N/mm ²	E N/mm ²	h mm	
500	450	900000	4414,5	0,0049	72400	1,92	h ₁ Nachweis bleibende Verformung
500	450	900000	4414,5	0,0049	72400	2,08	h ₂ Nachweis bleibende Verformung

Die für die Berechnung notwendige lineare Interpolation des Verhältnisses $\frac{a}{b} = 1,11$ wird dabei nach der folgenden Formel berechnet:

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \cdot (x - x_0) \quad (12)$$

Tabelle 13: Faktoren c₁ - c₅ in Abhängigkeit von a/b (Dubbel 2007 Abschnitt C5.1.1)

a/b	c ₁	c ₂	c ₃	c ₅
1	0,53	0,53	0,225	1,24
1,1	0,52	0,61	0,263	1,37 ¹⁾
1,5	0,48	0,88	0,394	1,82
2	0,31	0,94	0,431	1,92
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
∞	0,3	1	0,455	2

1) ergibt sich aus linearer Interpolation

Die notwendige Dicke des Fahrkorbbodens beträgt demnach mindestens 3 mm. Aus Gründen der Konsistenz wird der Rand wiederum mit einer Höhe von 100 mm dargestellt, während der innere Bereich nur 20 mm dick ausgeführt wird (Abbildung 20). So bleibt noch genügend

Platz, um den notwendigen Puffer zu integrieren. Dieser Puffer hat die Aufgabe, den Auftreffstoß zu minimieren.

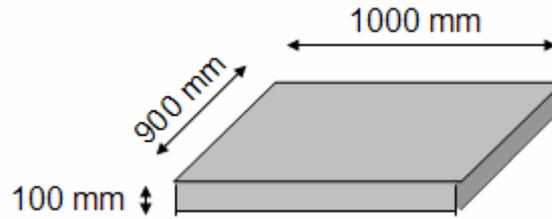


Abbildung 20: Fahrkorbboden – Höhe

4.2.4 Fahrkorb – konstruktive Umsetzung

In diesem Abschnitt soll die in Catia V5R16 durchgeführte Konstruktion dargestellt werden. Dabei soll das Konstruierte beschrieben und abgebildet werden. Es soll nicht der Weg der Catia-Konstruktion beschrieben werden.

In der folgenden Abbildung (Abbildung 21) kann man den grundsätzlichen Aufbau des Fahrkorbes erkennen. Decke und Boden wurden mit jeweils 20 mm verhältnismäßig dick ausgeführt. Im Boden wurde ein Puffer integriert, welcher den Stoß beim Auftreffen auf das Rollfeld vermindern soll. Er ist aus einem elastischen Material gefertigt, welches die Energie, die beim Kontakt mit dem Boden entsteht, absorbiert.



Abbildung 21: Fahrkorb – Seitenansicht

Die in Abbildung 22 deutlich gezeigten Verlängerung der linken Fahrkorbseite stellen eine Verlängerung des Rahmens und nicht der Verkleidung dar. Diese Verlängerung dient der Anbringung der Antriebstechnik und wird im Abschnitt 4.4 genauer erläutert.



Abbildung 22: Fahrkorb – Isometrische Ansicht

In Flugrichtung hinten und vorne am Fahrkorb sind Streben vorgesehen, welche für das Befestigen der Führungsschlitten notwendig sind (Abbildung 23).

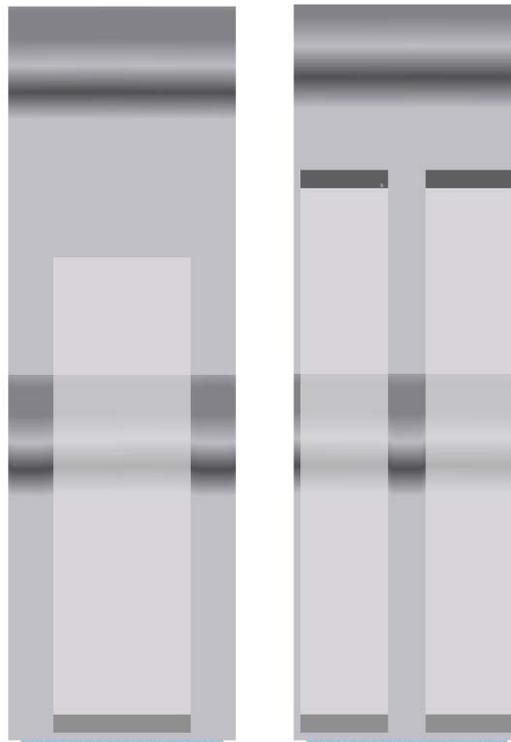


Abbildung 23: Fahrkorb – Vorderansicht & Rückansicht

Um die Schlitten am Fahrkorbrahmen befestigen zu können, sind entsprechende Bohrungen an den Streben angebracht (Abbildung 24; Abbildung 25). Die Schlitten werden mit jeweils drei Schrauben mit dem Rahmen verbunden. Um eine sichere und gleichmäßige Verbindung gewährleisten zu können, sind die Bohrungen ebenfalls an den Führungsschienen angebracht.



Abbildung 24: Fahrkorb – Bohrungen links



Abbildung 25: Fahrkorb – Bohrungen rechts

Um den in der **CS-25 2000** vorgegebenen Belastungen Rechnung zu tragen, werden links und rechts am Fahrkorb zwei verschiedene Varianten der Führungsschlitten angebracht (Abbildung 26). Dies ist notwendig, um die auftretenden ebenen Belastungen vollständig aufnehmen und übertragen zu können.

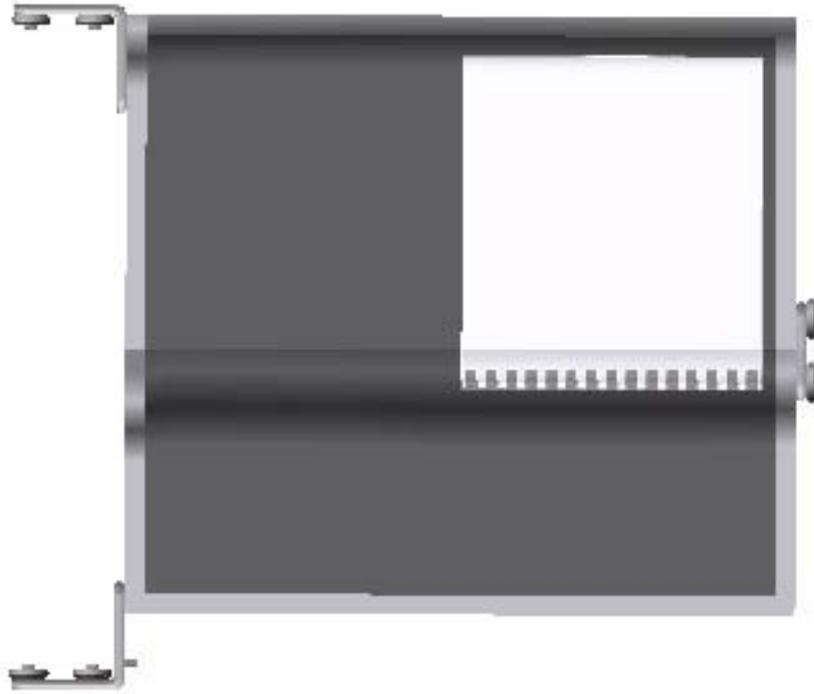


Abbildung 26: Fahrkorb – Draufsicht



Abbildung 27: Fahrkorb – Schlitten

In Flugrichtung rechts wird an der einzelnen Rahmenstrebe ein eindimensionaler Schlitten befestigt (Abbildung 28, Abbildung 29). Sie haben die Aufgabe Kräfte senkrecht zur Flugrichtung aufzunehmen. Der Schlitten besteht aus einer einfachen Platte mit den Abmessungen 150 mm x 150 mm x 15 mm. In diese Platte sind drei Löcher integriert. Durch diese Löcher werden drei Rollen mit Hilfe von Bundschrauben mit Muttern am Schlitten befestigt. Um ein wartungsarmes Betreiben gewährleisten zu können werden zwischen Schlitten und Bundschraube sowie Rolle und Bundschraube Hülsen vorgesehen. Um ein Verrutschen der Hülsen zu verhindern, werden diese mit Hilfe einer Schraube-Mutter-Verbindung voneinander getrennt gehalten. Die drei weiteren in Abbildung 28 erkennbaren Bohrungen werden für das Befestigen des Schlittens am Fahrkorb benötigt.



Abbildung 28: Einfacher Schlitten – Vorderansicht & Rückansicht



Abbildung 29: Einfacher Schlitten – Seitenansicht & Isometrische Ansicht

In Flugrichtung links wird der Fahrkorb durch zwei rechtwinklige Schlitten geführt (Abbildung 30; Abbildung 31; Abbildung 32). Diese können Belastungen in Flugrichtung besser auf das vorgesehene Führungssystem übertragen. Der Aufbau der rechtwinkligen Schlitten ähnelt dem der einfachen Schlitten. Es handelt sich hierbei allerdings um eine rechtwinklige Platte. Im einen Schenkel der Schlitten sind die Löcher für die Bundschrauben und somit die Rollen angebracht. Die Löcher für das Befestigen am Fahrstuhl werden im zweiten Schenkel integriert.

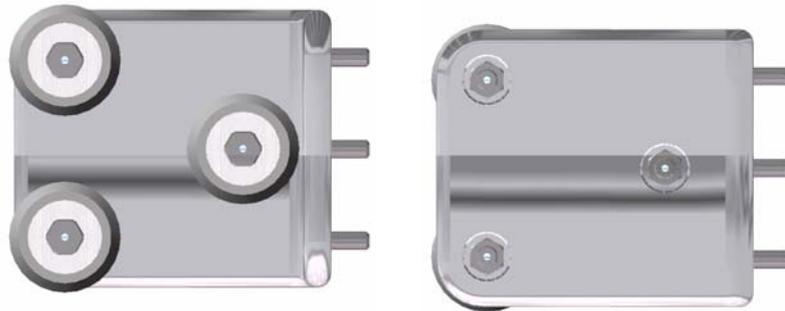


Abbildung 30: Rechtwinkliger Schlitten – Vorderansicht & Rückansicht



Abbildung 31: Rechtwinkliger Schlitten – Seitenansicht



Abbildung 32: Rechtwinkliger Schlitten – Isometrische Ansicht

Wie in Abbildung 26 zu sehen ist, befindet sich in der Fahrkorbdecke eine Klappe, um die Passagiere bei einem Notfall evakuieren zu können. Der Drehmechanismus besteht aus einer einfachen Stange, um die sich die Klappe dreht. An den Rändern ist die Klappe mit einer rechtwinkligen Fase versehen. Das Gegenstück dieser Fase ist an der Oberseite der Decke angebracht. Somit liegt die Klappe an den Rändern auf der Decke und lässt sich nach der Entriegelung, welche nach **TRA 5.1300 1994** (Abschnitt 8) nur mit einem Spezialschlüssel möglich ist, nur nach oben öffnen.

Um die Auslegung und Berechnung der weiteren Fahrstuhlkomponenten durchführen zu können, werden in Tabelle 14 die Einzelmassen sowie die Gesamtmasse der Fahrkorbteile dargestellt.

Tabelle 14: Fahrkorb – Masse

Teile des Fahrkorbes	Masse
Rahmen	150 kg
Verkleidung	33 kg
Boden	58 kg
Decke	42 kg
Klappe	12 kg
Nabe	0,7 kg
Puffer	14 kg
Schlitten	6,5 kg
gesamt	316 kg

4.3 Fahrkorbtüren

4.3.1 Fahrkorbtüren – Grundkonfiguration

Die Fahrkorbtüren stellen einige der wichtigsten Teile des Fahrkorbes dar. Ohne diese ist auf Grund der Sicherheitsbestimmungen kein Passagiertransport möglich. Grundsätzlich sollen die Fahrkorbtüren nach dem folgenden Prinzip aufgebaut sein: Um die Breite des Fahrkorbes abdecken zu können, müssen die Türen eine Fläche von mindestens 1000 mm x 2100 mm abdecken. 1000 mm beträgt die Fahrkorblänge, während die Höhe von 2100 mm der Lichten Höhe des Fahrstuhls entspricht. Da die Platzverhältnisse aufgrund des Einbaus in ein Flugzeug sehr begrenzt sind, wird bei den Türen auf eine vierteilige Schiebetürkonfiguration zurückgegriffen. Die Fahrkorbtür besteht demnach also aus zwei Bereichen (rechts und links) mit jeweils zwei Türen. Um eine Überlappung von 50 mm zwischen den Türflügeln innerhalb eines Bereichs gewährleisten zu können, werden die einzelnen Elemente der Schiebetür mit einer Breite von 275 mm ausgeführt (Abbildung 33).

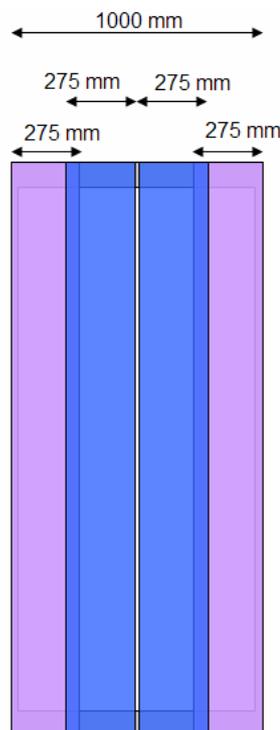


Abbildung 33: Fahrkorbtüren – Geschlossen

Im geschlossenen Zustand decken die Türflügel somit die gesamte Fahrkorbbreite ab. Im geöffneten Zustand benötigt die viergliedrige Schiebetür dennoch verhältnismäßig wenig Platz (Abbildung 34).

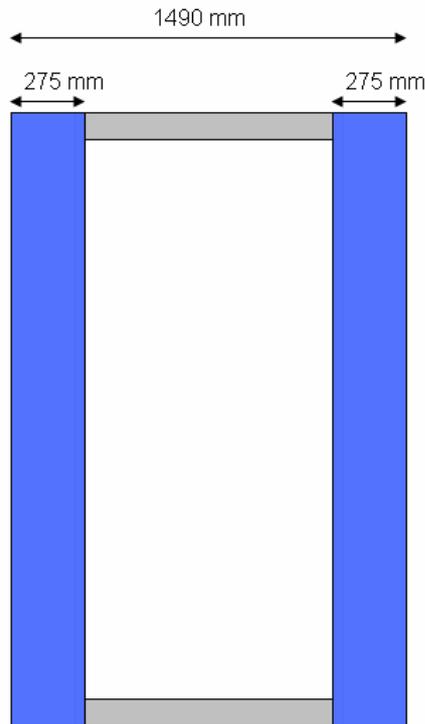


Abbildung 34: Fahrkorbtüren – Geöffnet

Um den Schiebemechanismus umsetzen zu können, werden die beiden Türflügel eines Bereichs in zwei verschiedenen Schienensystemen geführt. Die inneren Flügel werden dabei in der äußeren, die äußeren Türflügel in der inneren Führungsschiene gelagert. Die Lagerung erfolgt unten und oben auf unterschiedliche Weise.

Die obere und wichtigere Lagerung wird hier zuerst beschrieben. Es handelt hierbei um ein Kettenzug-Prinzip. Zwischen zwei Rollen wird eine Kette gespannt (Abbildung 35). Diese wird durch die Drehung der Rollen bewegt. An dieser Kette wird der Türflügel befestigt und bewegt sich somit automatisch zusammen mit der Kette. Eine der beiden Rollen, die Antriebsrolle, wird über einen Elektromotor unter Verwendung einer Welle-Nabe-Verbindung angetrieben. Der Elektromotor wird zwischen der Deckenoberkante und dem oberen Rand des Fahrkorbrahmens platziert (Abbildung 36). Die Kette wird in einer Führungsschiene geschützt bewegt. An dieser Schiene sind ebenfalls Rollen mit Hilfe eines Bolzens fixiert.

Die untere Lagerung ist vergleichsweise einfach vorgesehen. Der Türflügel soll unten mit Rollen versehen werden. Diese Rollen sollen nun in einer ähnlichen Führungsschiene wie bei der oberen Lagerung geführt werden. Die Türflügel sind demnach nicht fest mit der unteren Schiene verbunden, sondern werden nur in ihr geführt.

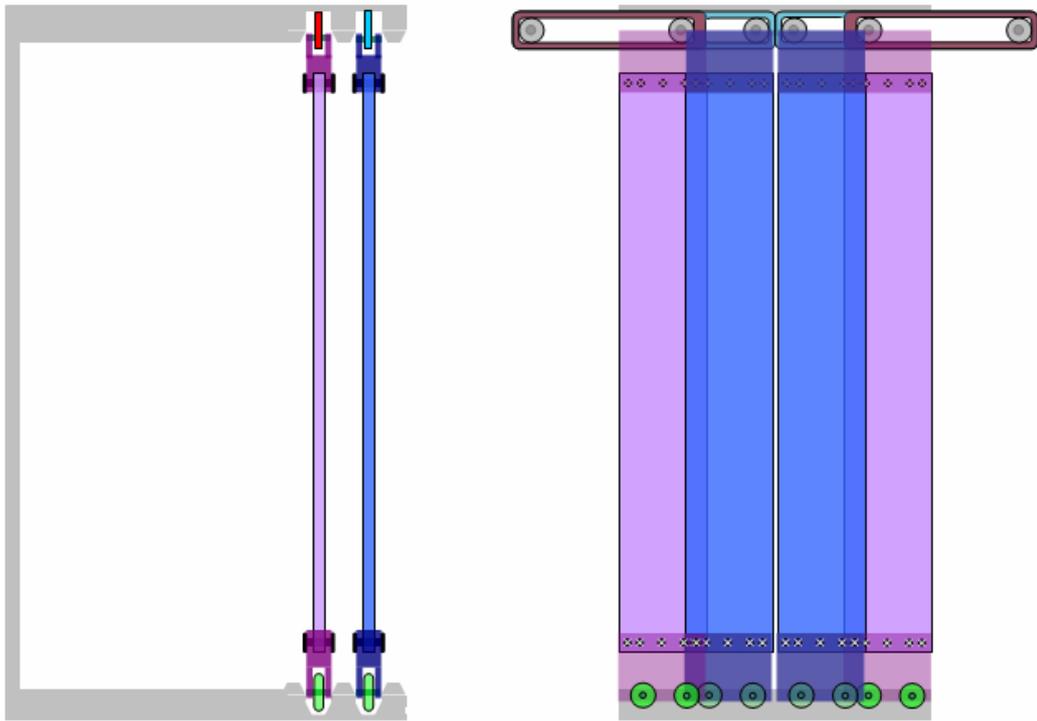


Abbildung 35: Fahrkorbtüren – Schiebemechanismus

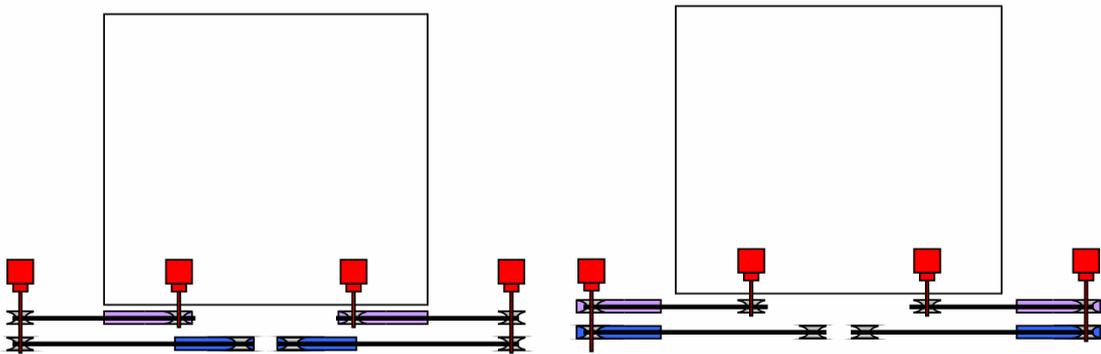


Abbildung 36: Fahrkorbtüren – Elektromotoren

4.3.2 Fahrkorbtüren – Anforderungen

Die für die Fahrkorbtüren relevanten Anforderungen werden der **DIN EN 81-1 2000** Kapitel 8 sowie der **TRA 5.1300 1994** Abschnitt 1343 entnommen und im Folgenden zusammengefasst.

Mechanische Anforderungen an die Türen

- *Fahrkörbe müssen mit Fahrkorbtüren versehen sein. (TRA 5.1300 1994)*
- *Fahrkorbtüren und Schachttüren in vollständig geöffnetem Zustand sowie ihre Antriebe dürfen Bewegungen des Fahrkorbes im gesamten Fahrbereich nicht behindern. (TRA 5.1300 1994)*
- *Fahrkorbtüren müssen aus festem Werkstoff bestehen. (TRA 5.1300 1994)*
- *Geschlossene Fahrkorbtüren müssen, abgesehen von den betriebsnotwendigen Spalten, die Fahrkorbzugänge vollständig abschließen. (DIN EN 81-1 2000)*
- *In Schließstellung müssen die Spalte zwischen den Türblättern oder den Türblättern und dem Türrahmen, Kämpfer oder Schwelle so klein wie möglich sein. Diese Anforderung ist erfüllt, wenn die Spalte 6 mm nicht überschreiten. Dieser Wert darf auf Grund von Verschleiß 10 mm erreichen. Die Spalte werden unter Berücksichtigung vorhandener Vertiefungen gemessen. (DIN EN 81- 2000)*
- *Fahrkorbtüren müssen in Schließstellung eine mechanische Festigkeit haben, so daß eine vom Inneren des Fahrkorbes nach außen an beliebiger Stelle senkrecht zur Türfläche auf eine runde oder quadratische Fläche von 5 cm² gleichmäßig verteilt angreifende Kraft von 300 N die Tür*
 - a) *weder bleibend verformt,*
 - b) *noch um mehr als 15 mm elastisch verformt,*
 - c) *noch, während und nach dieser Prüfung, in ihrer Sicherheitsfunktion beeinträchtigt. (DIN EN 81- 2000)*
- *Fahrkorbtüren und deren Rahmen müssen so ausgeführt sein, daß die Gefährdung durch Einklemmen von Körperteilen, Kleidung oder Gegenständen möglichst gering ist. Um Schergefahren während der Türbewegung zu vermeiden, dürfen die Fahrkorbseiten von selbsttätig kraftbetätigten Fahrkorb-Schiebetüren keine Vertiefungen oder Erhöhungen von mehr als 3 mm aufweisen. Die Kanten von Absätzen müssen in Öffnungsrichtung abgeschrägt sein. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Der Aufzug darf erst anfahren können, wenn alle Schachttüren geschlossen und gesperrt sind. (TRA 5.1300 1994)*
- *Schachttüren müssen von außen mit besonderem Schlüssel entriegelt und dann geöffnet werden können (Notentriegelung). Nach dem Notentriegeln darf das Sperrmittel bei geschlossenen Schachttüren nicht in Entriegelungsstellung bleiben. (TRA 5.1300 1994)*

4.3.3 Fahrkorbtüren – Auslegung und Berechnung

Bei der Auslegung der Fahrkorbtür muss nun ein anderes Verfahren als bei den Fahrkorbwänden angewendet werden. Die einzelnen Türflügel werden als Stab mit einem Rechteckquerschnitt mit den Abmessungen $h \times b$ und einer Länge von l idealisiert (Abbildung 37).

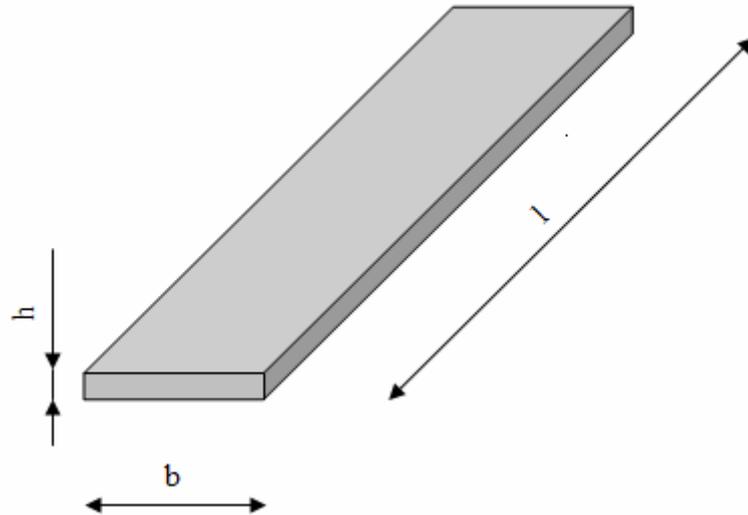


Abbildung 37: Fahrkorbtüren – Abmessungen

Auf diesen idealisierten Stab wirkt nun die Kraft F , welche mit Hilfe der **DIN EN 81-1 2000** (Abschnitt 1343) mit 300 N angesetzt wird (Abbildung 38).

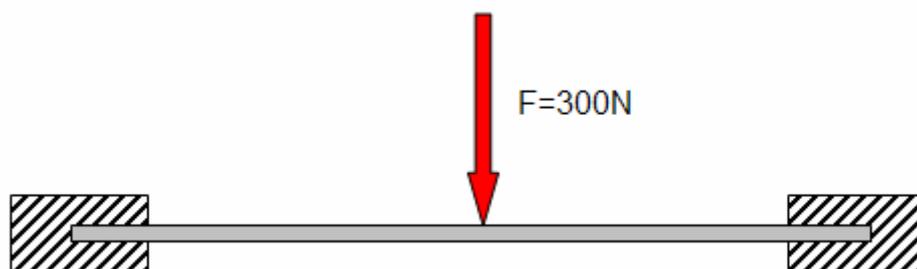


Abbildung 38: Fahrkorbtüren – Prinzipskizze

Unter der Einwirkung dieser Kraft entsteht die folgende Biegelinie:

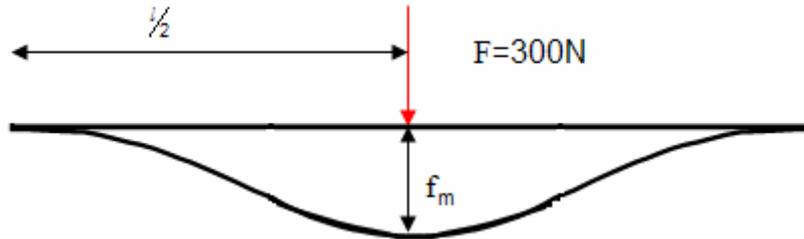


Abbildung 39: Fahrkorbtüren – Durchbiegung

Für die Auslegung gemäß der Anforderung bezüglich der maximalen Durchbiegung ergibt sich laut **Dubbel 2007** (Abschnitt 2.4.8 Tabelle 4b) die maximale Durchbiegung zu:

$$f_m = \frac{F \cdot l}{192 \cdot E \cdot I_y} \quad (13)$$

Da in diesem Fall die Durchbiegung aufgrund der Norm schon bekannt ist, ist nur die nach dem Biegesteifigkeitsmoment umgestellte Variante interessant:

$$I_y = \frac{F \cdot l}{192 \cdot E \cdot f_m} \quad (14)$$

Das Biegesteifigkeitsmoment ergibt sich mit Hilfe von Abbildung 40 zu folgender Formel:

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (15)$$

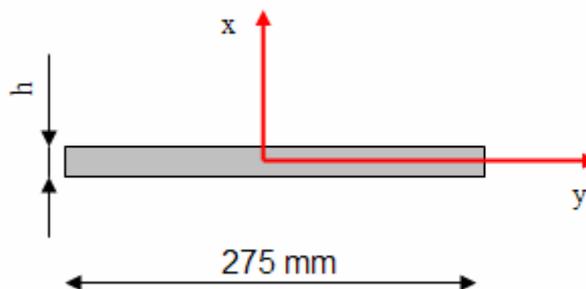


Abbildung 40: Fahrkorbtüren – Biegesteifigkeitsmoment

Wird diese Formel nun nach der gesuchten Variable, der Türdicke h , umgestellt, kann man die Dicke wie folgt berechnen:

$$h = \sqrt[3]{\frac{I_y \cdot 12}{b}} \quad (16)$$

Die Fahrkorbtüren dürfen sich nicht bleibend verformen. Daher wurden die folgenden Formeln an die Fahrstuhlgegebenheiten angepasst:

$$h = \frac{F}{\sigma \cdot b} \quad (17)$$

$$h = \frac{F}{\sigma \cdot l} \quad (18)$$

Zusammengefasst ergeben sich die notwendigen Türdicken:

Tabelle 15: Fahrkorbtüren – Auslegung

f_m mm	F N	b mm	l mm	E N/mm ²	I_y mm ⁴	h mm		
15	300	275	2100	72400	0,00302	0,05090	h_1	Nachweis Durchbiegung
-	300	275	2100	72400	-	0,00779	h_2	Nachweis bleibende Verformung
-	300	275	2100	72400	-	0,00102	h_3	Nachweis bleibende Verformung

Zur Wahrung der Konsistenz wird auch bei den Fahrkorbtüren eine Plattendicke von 2 mm gewählt (Tabelle 16).

Tabelle 16: Fahrkorbtüren – gewählte Türdicken

Türen			h
links-außen	2100 mm x	275 mm	2 mm
links-innen	2100 mm x	275 mm	2 mm
rechts-innen	2100 mm x	275 mm	2 mm
rechts-außen	2100 mm x	275 mm	2 mm

4.3.4 Fahrkorbtüren – konstruktive Umsetzung

In der unten gezeigten Abbildung 41 kann man die einzelnen Türflügel erkennen. Die äußeren Türflügel werden dabei sehr nah am Fahrkorbrahmen geführt. Die Schiene für die inneren Türflügel befindet sich etwas weiter entfernt vom Rahmen.

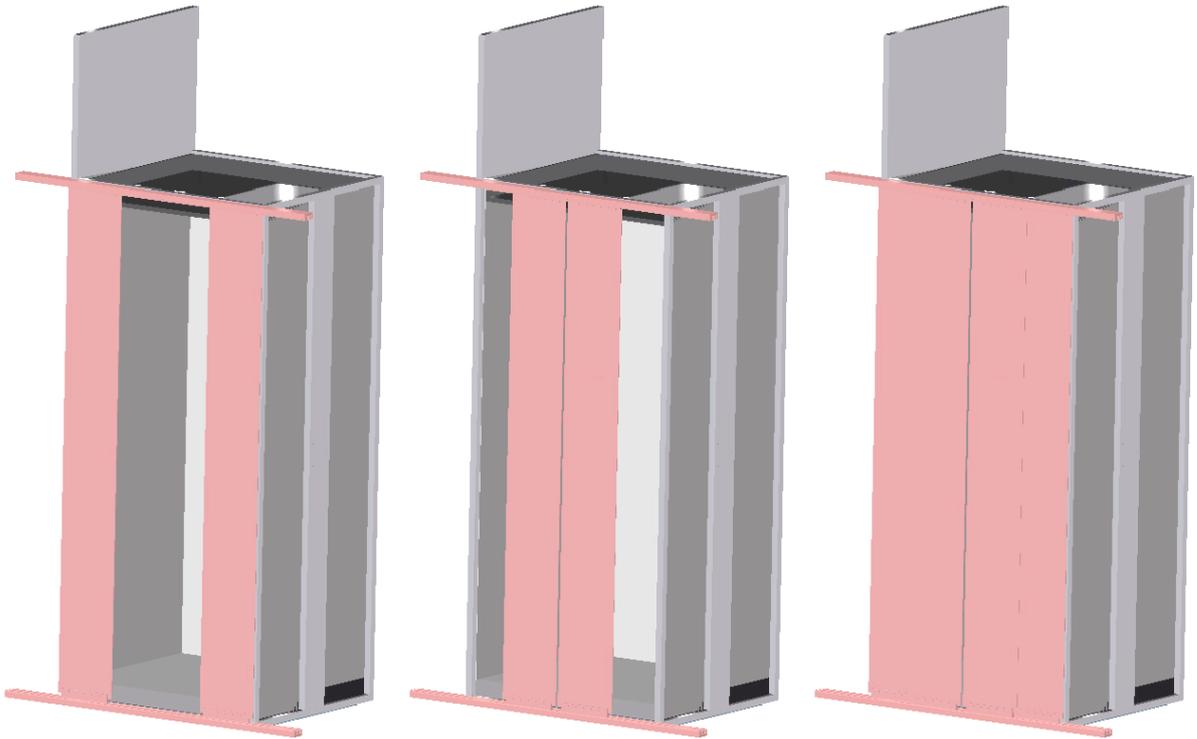


Abbildung 41: Fahrkorbtüren – Isometrische Ansicht

Die Führungsschienen werden so am Rahmen befestigt, dass sie unten bzw. oben mit diesem bündig abschließen. Da sie wie der Rahmen eine Höhe von 30 mm besitzen, ergibt sich ein stimmiges Bild. Rechts und links stehen die Führungsschienen 245 mm über. Das ist notwendig, damit sich der Fahrkorb vollständig öffnen lässt (Abbildung 42).

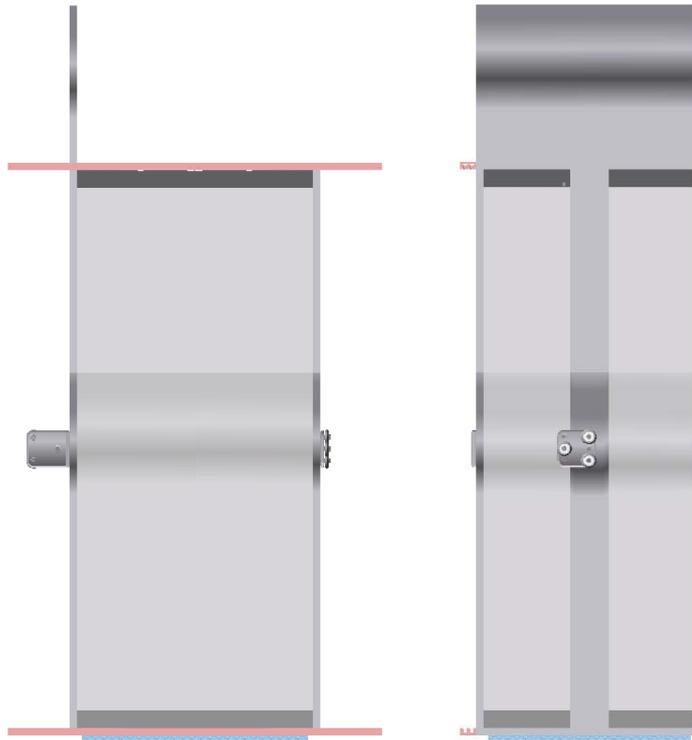


Abbildung 42: Fahrkorbtüren – Führungsschienen

In Abbildung 43 und Abbildung 44 kann man die genaue Geometrie der oberen Führungsschiene erkennen. Es handelt sich prinzipiell um ein auf dem Bauch liegendes E. Die beiden Zwischenräume haben dieselben geometrischen Abmessungen. Die Stege sind bei der oberen Schiene verschieden breit ausgeführt. Der Referenzsteg ist hierbei der linke Steg. Der mittlere Steg wird nur halb so breit ausgeführt, ebenso wie der rechte, an dessen Ende sich allerdings der Fahrkorbrahmen anschließt.



Abbildung 43: Obere Führungsschiene – Vorderansicht



Abbildung 44: Obere Führungsschiene – Seitenansicht mit Elektromotor

In den Zwischenräumen kann man die Rollen erkennen, welche für das Antreiben der ebenfalls sichtbaren Ketten verantwortlich sind. Im rechten Teil von Abbildung 44 ist der Elektromotor dargestellt, welcher die Rollen antreibt.

In Abbildung 45 ist erkennbar, an welchen Positionen die Rollen befestigt sind. Ebenfalls erkennbar sind die Lagen der Elektromotoren. Sie treiben die Rollen an, welche sich an derselben Stelle längs der Führungsschiene befinden.

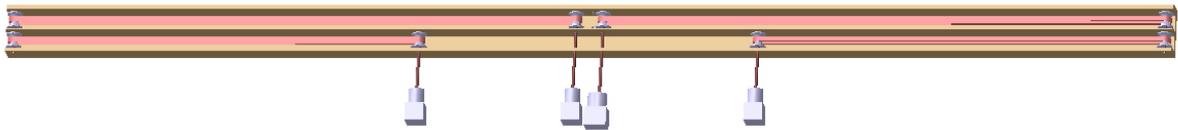


Abbildung 45: Obere Führungsschiene – Überblick

Die einzelnen Rollenpositionen werden in der folgenden Abbildung noch einmal detailliert dargestellt.

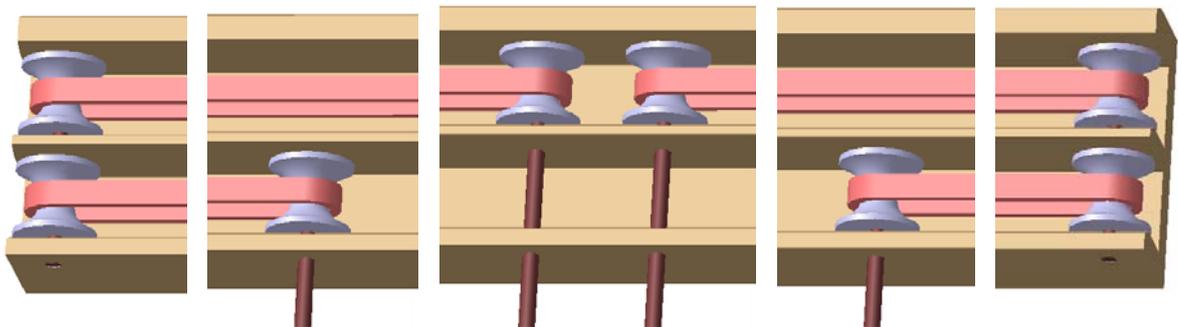


Abbildung 46: Obere Führungsschiene – Detail

Die untere Führungsschiene ist wie in Absatz 4.3.1 angedeutet einfacher ausgeführt. Es handelt sich hierbei ebenfalls um ein auf dem Bauch liegendes E. Die Stege haben aufgrund des kleineren notwendigen Zwischenraumes allerdings die gleiche Breite. Im unteren Bereich des Zwischenraumes sind diese abgeschrägt, um eine bessere Führung der Rollen zu ermöglichen (Abbildung 47; Abbildung 48).



Abbildung 47: Untere Führungsschiene – Vorderansicht



Abbildung 48: Untere Führungsschiene – Seitenansicht

In den nächsten beiden Abbildungen werden die eigentlichen Türflügel dargestellt. Sie sind oben und unten mit Hilfe von Bohrungen mit einem Steg verbunden.

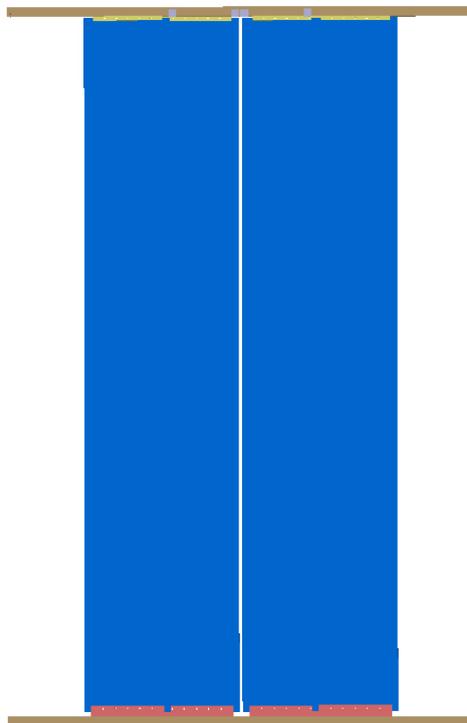


Abbildung 49: Türflügel – Vorderansicht

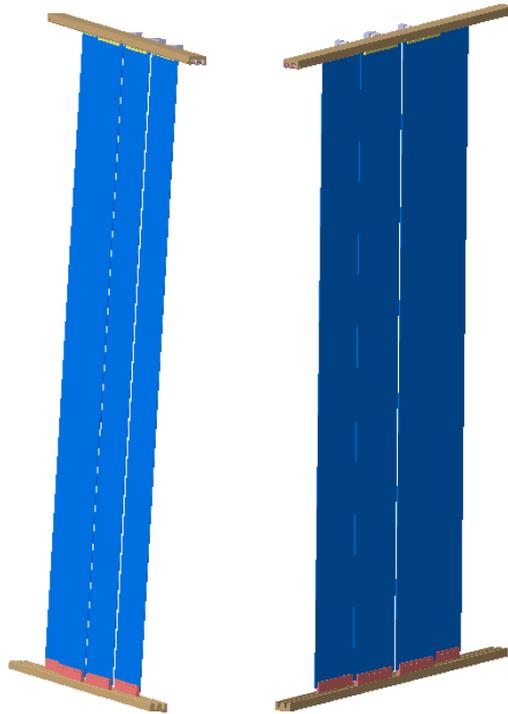


Abbildung 50: Türflügel – Isometrische Ansicht

Der obere Steg dient zum Befestigen der Türflügel an dem Kettentrieb (Abbildung 51).

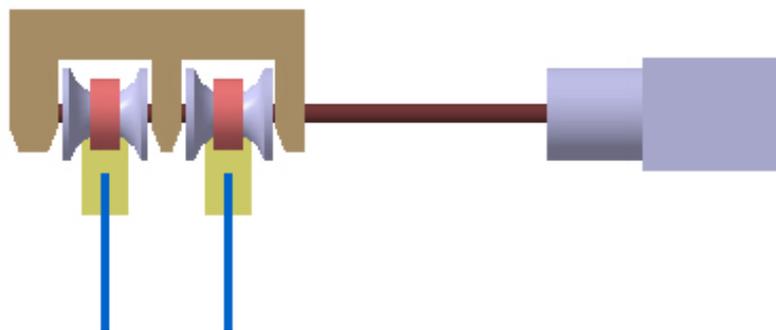


Abbildung 51: Türflügelsteg – Oben

Der untere Steg dient der Aufnahme der im Absatz 4.3.1 beschriebenen Rollen. Die Rollen sind mit Hilfe von Bolzen an der Führungsschiene befestigt.

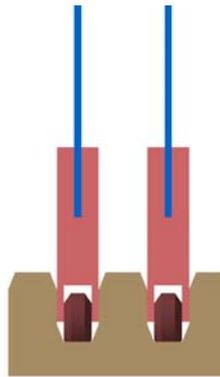


Abbildung 52: Türflügelsteg – Hinten

In Abbildung 53 und Abbildung 54 wird das obere Türschiensystem noch einmal deutlich dargestellt.

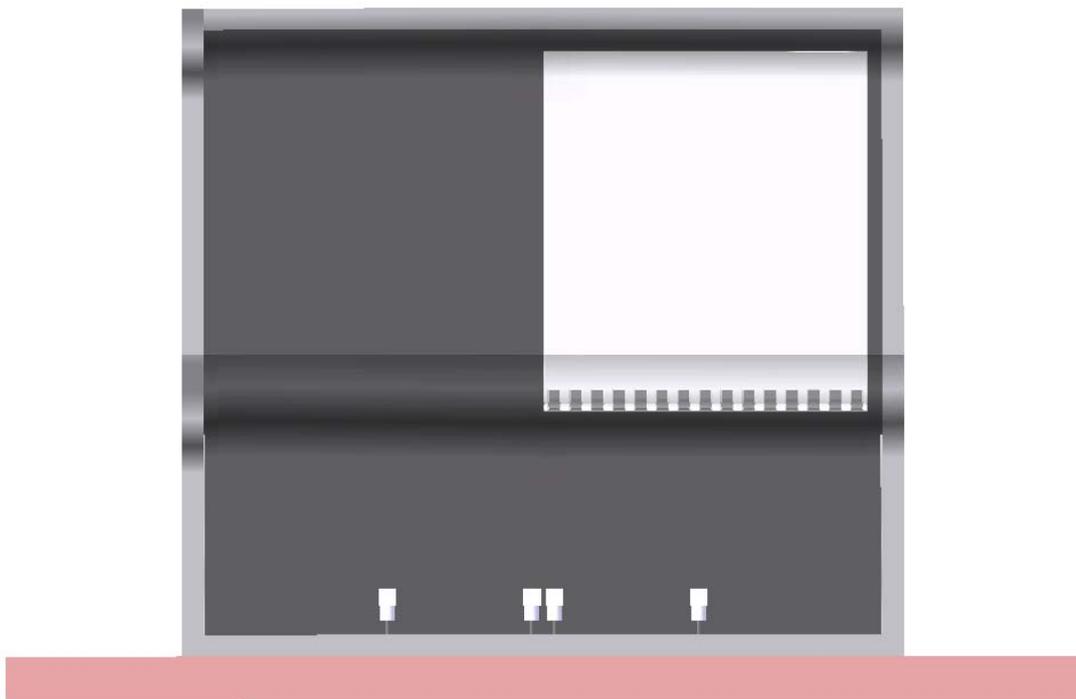


Abbildung 53: Oberes Schienensystem – Draufsicht

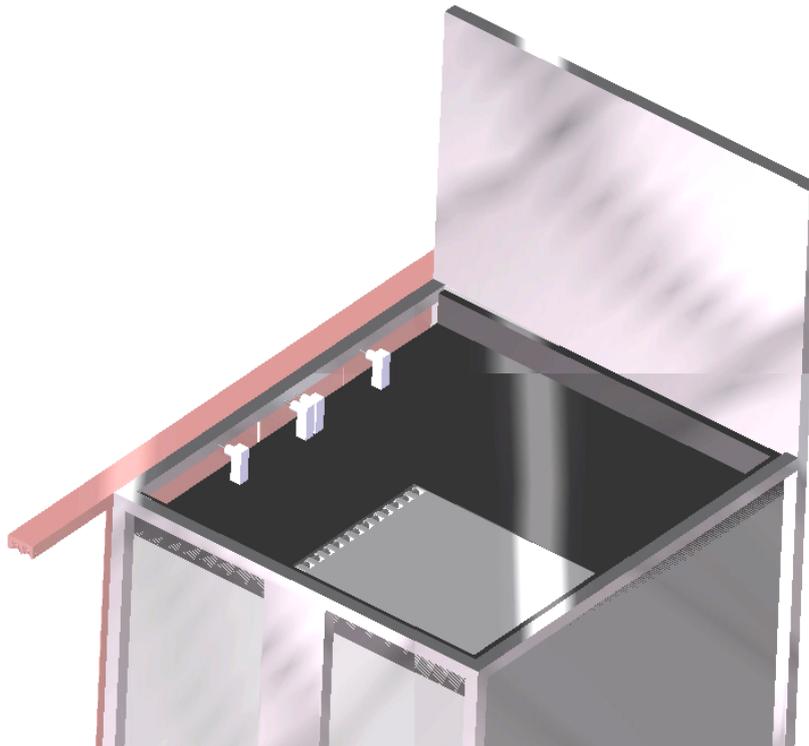


Abbildung 54: Oberes Schienensystem – Isometrische Ansicht

In Tabelle 17 werden die Massen der einzelnen Fahrkorbtüren, sowie das Zubehör für diese dargestellt.

Tabelle 17: Fahrkorbtüren – Masse

Teile des Fahrkorbes	Masse
Tür links - außen	6 kg
Tür links - innen	6 kg
Tür rechts - innen	6 kg
Tür rechts - außen	6 kg
Zubehör	3 kg
gesamt	27 kg

4.4 Antrieb

4.4.1 Antrieb– Grundkonfiguration

Der Antrieb, auch als Triebwerk bezeichnet, bildet einen der wichtigsten Bereiche des Fahrstuhls. Er hat die Aufgabe, den Fahrkorb vom Rollfeld in die Kabine, sowie umgekehrt zu befördern. Außerdem ist er dafür verantwortlich, den Fahrkorb in die Verstaungsposition zu befördern und dort zu halten. Dies ist mit verschiedenen Grundprinzipien möglich. Zum Beispiel mit Hilfe einer Zahnstange, einem Gegengewicht oder pneumatisch. Der in diesem Projekt konstruierte Fahrstuhl wird mit einem Spindelhubgetriebe bewegt. Der Antrieb kann durch zwei Prinzipien erfolgen: Einer rotierenden Spindel oder einer rotierenden Mutter. Aufgrund der langen Spindel, welche zum Überbrücken der Förderhöhe notwendig ist, wird für diesen Antrieb eine stehende Spindel in Verbindung mit einer drehenden Mutter gewählt.

Die Mutter, welche zweidimensional mit dem Fahrkorb verbunden ist, schraubt sich an der stehenden Spindel auf und ab. Um die Mutter zum Rotieren zu bringen, ist diese mit einem Getriebe verbunden. Um das Getriebe in Bewegung zu setzen, wird auf eine der drei Energiearten - elektrische, pneumatische oder hydraulische Energie – zurückgegriffen. Da die elektrische Energie am Einfachsten zu handhaben ist und ständig zur Verfügung steht, wird das Getriebe mit Hilfe eines Drehstrommotors angetrieben (Abbildung 55).

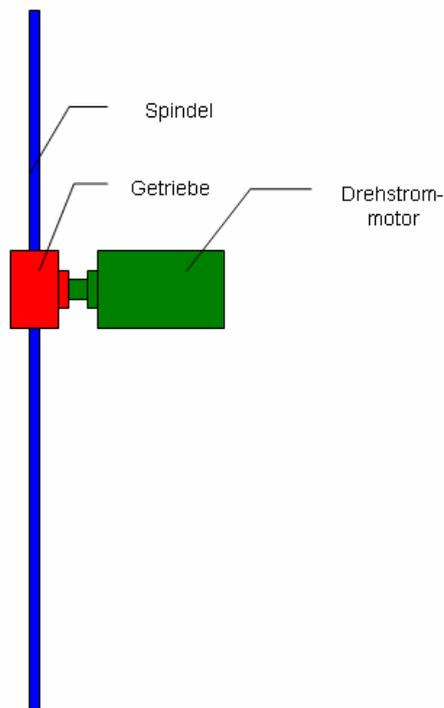


Abbildung 55: Antrieb – Grundkonfiguration

4.4.2 Antrieb – Anforderungen

Für den Antrieb sind die folgenden Anforderungen aus der **DIN EN 81-1 2000** Kapitel 12 und aus der **TRA 5.1300 1994** Abschnitt 1320 bis 1329 relevant.

Allgemein

- *Für jeden Aufzug muss mindestens ein eigenes Triebwerk vorhanden sein. (TRA 5.1300 1994)*
- *Die Betriebsgeschwindigkeit darf höchstens 0,20 m/s betragen. (TRA 5.1300 1994)*

Bremsen

- *Triebwerke müssen mit einer elektrisch Lüftbahnen und selbsttätig wirkenden Bremse versehen sein, die ausschließlich mechanisch verzögert. (TRA 5.1300 1994)*
- *Aufzüge müssen Bremseinrichtungen haben, die

 - a) *bei Ausfall der Netzspannung,*
 - b) *bei Ausfall der Steuerspannung*
 selbsttätig wirksam werden. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Die Bremseinrichtung muss eine auf Reibung beruhende elektromechanische Bremse enthalten und darf zusätzlich andere Mittel (z. B. elektrische) benutzen. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Der Bremsdruck muss durch geführte Druckfedern bewirkt werden. Bandbremsen sind unzulässig. (TRA 5.1300 1994)*
- *Die Bremsbeläge dürfen nicht brennbar sein. (DIN EN 81-1 2000)*

Schutzmaßnahmen an Triebwerken

- *An erreichbaren sich drehenden Teilen, die gefährlich sein können, müssen wirksame Schutzeinrichtungen vorhanden sein. Insbesondere gilt dies für:

 - a) *Federkeile und Schrauben in Wellen*
 - b) *Bänder, Ketten, Riemen*
 - c) *Vorgelege, Kettenräder*
 - d) *vorstehende Motorwellen (DIN EN 81-1 2000)**
- *Geschwindigkeitsbegrenzer mit Fliehgewichten Ausgenommen sind Treibscheiben mit Schutz Handräder, Bremsstrommeln und alle ähnlichen glatten, runden Teile. Sie sind mindestens teilweise gelb zu streichen (DIN EN 81-1 2000)*

4.4.3 Antrieb – Auslegung und Berechnung

Auslegung des Antriebs bezüglich der Antriebsleistung

Die Auslegung des Antriebs erfolgt mit Hilfe der Produktbeschreibung für KSH-Kegelradgetriebe der Firma Inkoma (**KSH 2008**). Die folgenden für die Berechnung relevanten Kräfte, Momente und Drehzahlen sind in Abbildung 56 dargestellt:

F_{eff} [kN]	= Effektive Hublast des Hubgetriebes
M_{an} [Nm]	= Antriebsmoment
M_{Br} [Nm]	= Bremsmoment
M_{max} [Nm]	= Maximales Antriebsmoment
M_{Sp} [Nm]	= Drehmoment der Hubspindel
n_{an} [1/min]	= Antriebsdrehzahl
v_{Hub} [m/min]	= Hubgeschwindigkeit

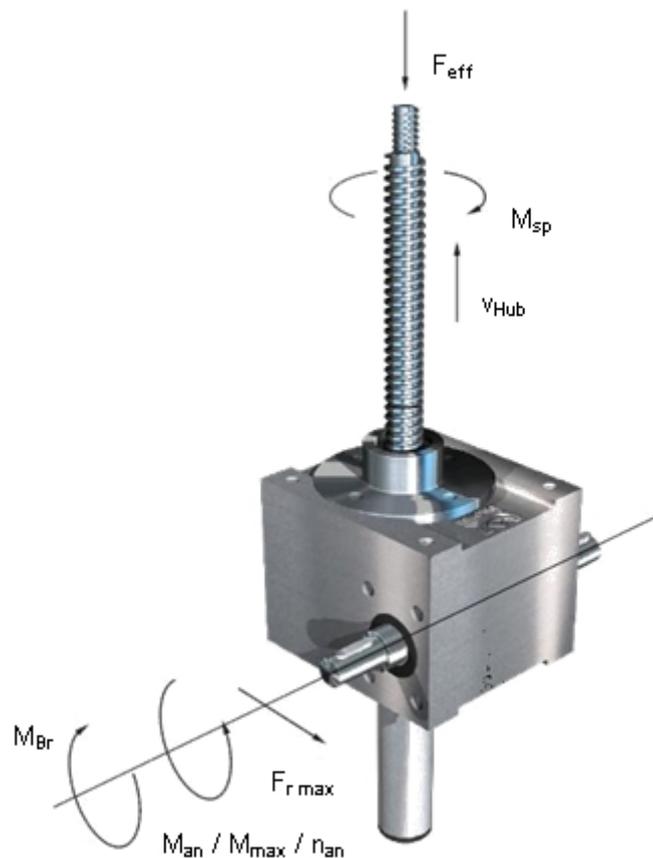


Abbildung 56: Antrieb – Wirkende Kräfte, Momente und Drehzahlen (KSH 2008)

Als erstes muss die Einschaltdauer berechnet werden. Hierzu werden die Zeiten für das Heben und Senken bezogen auf die Stillstandzeit prozentual angegeben (Tabelle 18).

Tabelle 18: Antrieb – Einschaltdauer [KSH 2008]

Betriebszeiten							gesamt
Heben	15 s				15 s		30 s
Senken			30 s				30 s
Stillstand		30 s		30 s		1800 s	1860 s
Zykluszeit gesamt							1920 s
Einschaltdauer ED pro Zyklus in %							3,125 %

Da die Einschaltdauer mit 3,1 % unter 5 % liegt, kann auf die Berechnung der temperaturabhängigen effektiven Hubleistung verzichtet werden.

Mit Hilfe von Tabelle 19 wird nun die Getriebe-Spindel-Konfiguration **KSH-2-KSH-SA/SVA Hub-KGS 32x20** vorgewählt. Die Wahl fällt auf eine Konfiguration, welche maximal 40 kN trägt. Pro Umdrehung werden 10 mm überwunden. Bei dem notwendigen Hub von 5000 mm sind demnach 500 Umdrehungen notwendig. Da für diese Strecke maximal 30 Sekunden zur Verfügung stehen, ist eine Spindeldrehzahl von 1000 Umdrehungen pro Minute notwendig.

Tabelle 19: Antrieb – Getriebe-Spindel-Konfiguration [KSH 2008]

Bezeichnung	Hubkraft	max. Hubkraft statisch	Hub pro Umdrehung	Übersetzung	KGS dxP	CAD-Nr.:	notwendiger Hub	notwendige Umdrehungen	zulässige Zeit		Spindeldrehzahl
							[mm]	[-]	[s]	[min]	
KSH - 1 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 25 x 5	12,3	15	2,5	2	25 x 5	75-1921	5000	2000	30	0,5	4000
KSH - 1 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 25 x 10	13,2	15	5	2	25 x 10	75-1923	5000	1000	30	0,5	2000
KSH - 1 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 25 x 5	12,3	15	1,66	3	25 x 5	75-1922	5000	3012	30	0,5	6024
KSH - 1 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 25 x 10	13,2	15	3,33	3	25 x 10	75-1924	5000	1502	30	0,5	3003
KSH - 2 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 40 x 5	23,4	40	2,5	2	40 x 5	75-2921	5000	2000	30	0,5	4000
KSH - 2 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 32 x 10	33,4	40	5	2	32 x 10	75-2923	5000	1000	30	0,5	2000
KSH - 2 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 32 x 20	29,7	40	10	2	32 x 20	75-2925	5000	500	30	0,5	1000
KSH - 2 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 40 x 5	23,4	40	1,66	3	40 x 5	75-2922	5000	3012	30	0,5	6024
KSH - 2 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 32 x 10	33,4	40	3,33	3	32 x 10	75-2924	5000	1502	30	0,5	3003
KSH - 2 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 32 x 20	29,7	40	6,66	3	32 x 20	75-2926	5000	751	30	0,5	1502
KSH - 3 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 63 x 10	76	90	5	2	63 x 10	75-3921	5000	1000	30	0,5	2000
KSH - 3 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 63 x 20	90	90	10	2	63 x 20	75-3923	5000	500	30	0,5	1000
KSH - 3 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 63 x 10	76	90	3,33	3	63 x 10	75-3922	5000	1502	30	0,5	3003
KSH - 3 -KSH- SA / SVA Hub- KGS - 63 x 20	90	90	6,66	3	63 x 20	75-3924	5000	751	30	0,5	1502

Die genauen geometrischen Abmessungen des gewählten Spindelhubgetriebes können den beiden Darstellungen Abbildung 57 und Abbildung 58 sowie der Tabelle 20 entnommen werden.

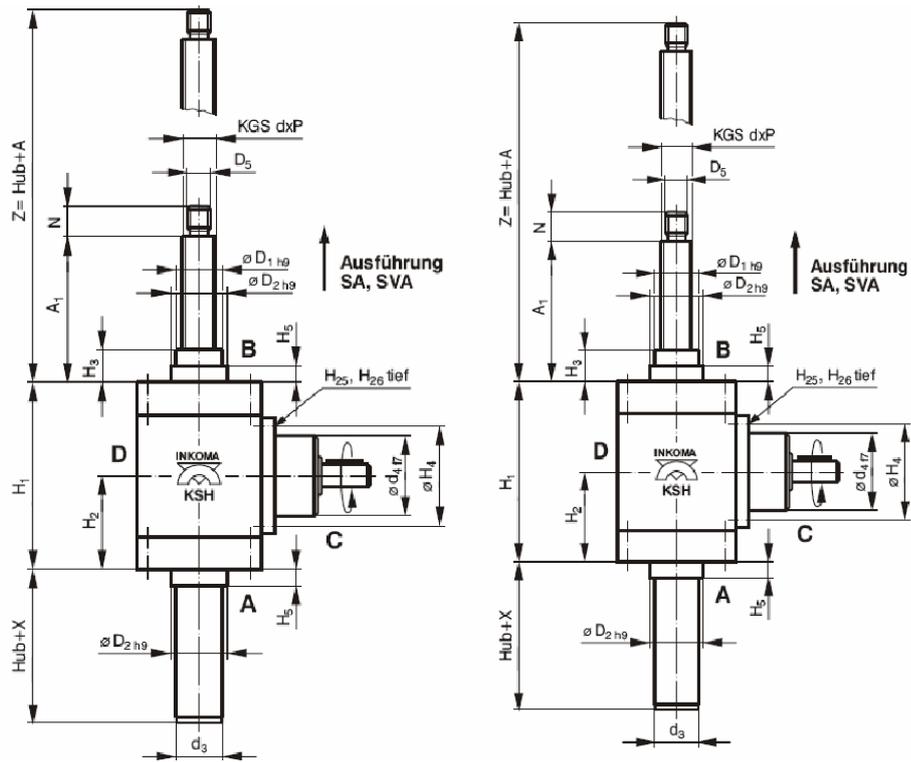


Abbildung 57: Spindelhubgetriebe – Seitenansicht (KSH 2008)

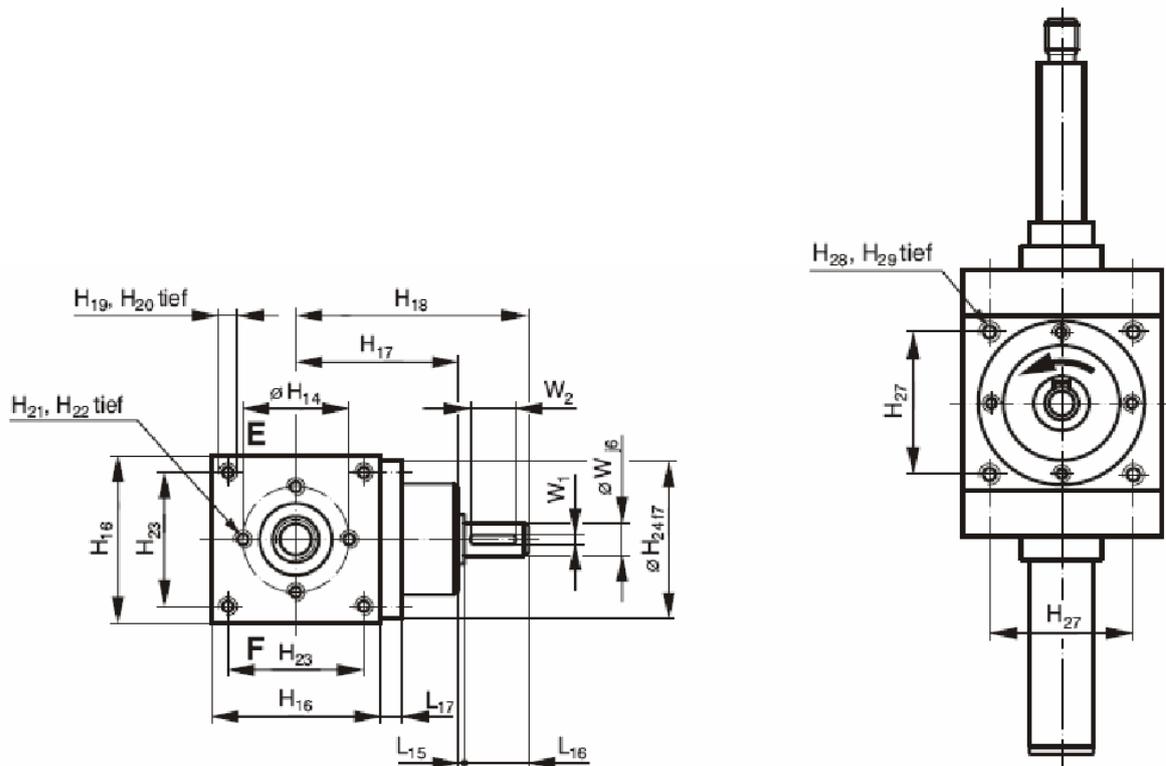


Abbildung 58: Spindelhubgetriebe – Vorderansicht & Draufsicht (KSH 2008)

Tabelle 20: Antrieb – Abmessungen [KSH 2008]

Bezeichnung	Abmessungen [mm]												
	d_4 2:1 / 3:1	L_{15}	L_{16} 2:1 / 3:1	L_{17}	A	A_1	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_{14}	
KSH-1-SA/SVA-Hub-KGS-25x5	60	2	35	10	50	30	140	70	23	75	10	72	
KSH-1-SA/SVA-Hub-KGS-25x10	60	2	35	10	65	45	140	70	30	75	18	72	
KSH-2-SA/SVA-Hub-KGS-40x5	90	2	50	15	80	51	190	95	32	115	-	-	
KSH-2-SA/SVA-Hub-KGS-32x10	90	2	50	15	95	73	190	95	32	115	-	-	
KSH-2-SA/SVA-Hub-KGS-32x20	90	2	50	15	105	83	190	95	32	115	10	-	
KSH-3-SA/SVA-Hub-KGS-63x10	150	2	90 / 80	20	95	47	295	147,5	40	200	-	-	
KSH-3-SA/SVA-Hub-KGS-63x20	151	2	91 / 80	20	95	47	295	147,5	40	200	-	-	
Bezeichnung	Abmessungen [mm]												
	H_{16}	H_{17} 2:1 / 3:1	H_{18} 2:1 / 3:1	H_{19}	H_{20}	H_{21}	H_{22}	H_{23}	H_{24}	H_{25}	H_{26}	H_{27}	
KSH-1-SA/SVA-Hub-KGS-25x5	90	85	122	-	-	M10	15	-	89	M8	10	-	
KSH-1-SA/SVA-Hub-KGS-25x10	90	85	122	-	-	M10	15	-	89	M8	10	-	
KSH-2-SA/SVA-Hub-KGS-40x5	140	128	180	M12	20	-	-	113	135	M10	15	110	
KSH-2-SA/SVA-Hub-KGS-32x10	140	128	180	M12	20	-	-	113	135	M10	15	110	
KSH-2-SA/SVA-Hub-KGS-32x20	140	128	180	M12	20	-	-	113	135	M10	15	110	
KSH-3-SA/SVA-Hub-KGS-63x10	230	213 / 228	305 / 310	M20	30	-	-	180	225	M16	20	-	
KSH-3-SA/SVA-Hub-KGS-63x20	230	213 / 228	305 / 310	M20	30	-	-	180	225	M16	20	-	
Bezeichnung	Abmessungen [mm]												
	W 2:1 / 3:1	W_1 2:1 / 3:1	W_2 2:1 / 3:1	SA $\varnothing d_3$	SVA $\varnothing d_3$	SA X	SVA X	D_1	D_2	D_5	N	H_{28}	H_{29}
KSH-1-SA/SVA-Hub-KGS-25x5	18 / 12	6 / 4	28	42	45	70	70	39	50	M14	20	-	-
KSH-1-SA/SVA-Hub-KGS-25x10	18 / 12	6 / 4	28	42	45	75	75	39	50	M14	20	-	-
KSH-2-SA/SVA-Hub-KGS-40x5	32 / 28	10 / 8	45	65	70	85	95	60	-	M30	29	M10	20
KSH-2-SA/SVA-Hub-KGS-32x10	32 / 28	10 / 8	45	65	70	100	110	60	-	M20	22	M10	20
KSH-2-SA/SVA-Hub-KGS-32x20	32 / 28	10 / 8	45	65	70	110	120	60	78	M20	22	M10	20
KSH-3-SA/SVA-Hub-KGS-63x10	55 / 40	16 / 12	80 / 60	95	90	105	115	90	-	M48	48	-	-
KSH-3-SA/SVA-Hub-KGS-63x20	55 / 40	16 / 12	80 / 60	95	90	105	115	90	-	M48	48	-	-

Nun muss das Drehmoment, welches die Hubspindel auf den Gelenkkopf ausübt, berechnet werden. Hierfür ist die effektive Hubleistung relevant.

$$P_{Hub,eff} = F_{eff} \cdot v_{Hub} \quad (19)$$

Mit

$$\begin{aligned} F_{eff} &= \text{Effektive Hubkraft des Getriebes} = 6,426 \text{ kN} \\ V_{eff} &= \text{Maximale Hubgeschwindigkeit} = 10000 \text{ mm/min} \\ &= 10 \text{ m/min} \end{aligned}$$

ergibt sich für die effektive Hubleistung:

$$P_{Hub,eff} = \text{Effektive Hubleistung} = 64,2579 \text{ kNm/min}$$

Mit der maximalen Hubleistung aus Tabelle 21 ergibt sich:

$$P_{Hub,max} = \text{Maximale Hubleistung} = 126,3 \text{ kNm/min}$$

Die Bedingung $P_{Hub,eff} < P_{Hub,max}$ ist somit erfüllt.

Tabelle 21: Antrieb – effektive Hubleistung [KSH 2008]

Bezeichnung/ Übersetzung	$P_{hub,max}$ [kNm/min]	
	Tr-Trapezgewindespindel	KGS-Kugelgewindespindel
KSH - 1 2 : 1	27,3	53,8
KSH - 1 3 : 1	24,4	49,2
KSH - 2 2 : 1	59,5	126,3
KSH - 2 3 : 1	48,6	101,1
KSH - 3 2 : 1	73,0	168,7
KSH - 3 3 : 1	58,8	135,2

Das Drehmoment der Hubspindel berechnet sich mit

$$M_{Sp} = F_{eff} \cdot f_H \quad (20)$$

und

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= \text{Effektive Hublast} &= 6,43 \text{ kN} \\
 f_H &= \text{Umrechnungsfaktor, beinhaltet} \\
 &\quad \text{Spindelgeometrie und Reibverluste} &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

zu

$$M_{sp} = \text{Drehmoment der Hubspindel} = 41,1 \text{ Nm}$$

Der Umrechnungsfaktor f_H wird hierbei aus Tabelle 22 abgelesen.

Tabelle 22: Drehmoment – Umrechnungsfaktor f_H [KSH 2008]

Kugelgewindespindel	f_H
KGS 12 x 5	1,6
KGS 16 x 5	1,6
KGS 20 x 5	1,6
KGS 25 x 5	1,6
KGS 25 x 10	3,2
KGS 32 x 5	1,6
KGS 32 x 10	3,2
KGS 32 x 20	6,4
KGS 40 x 5	1,6
KGS 40 x 10	3,2
KGS 40 x 20	6,4
KGS 50 x 5	1,6
KGS 63 x 10	3,2
KGS 63 x 20	6,4
KGS 80 x 10	3,2
KGS 80 x 20	6,4

Da die Kugelgewindespindel keine Selbsthemmung besitzt, muss der Einsatz eines Bremsmotors vorgesehen werden. Das benötigte Bremsmoment für ein Hubgetriebe ist wie folgt zu berechnen:

$$M_{Br} = \frac{F_{eff} \cdot P \cdot \eta_{ges}}{2 \cdot \pi \cdot i} \quad (21)$$

Mit Hilfe von den folgenden Variablen aus Tabelle 23

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= \text{Effektive Hublast} &= & 6,43 \text{ kN} \\
 \eta_{ges} &= \text{Gesamtwirkungsgrad} &= & 0,72 \\
 P &= \text{Steigung} &= & 20 \text{ mm} \\
 i &= \text{Übersetzung des Hubgetriebes} &= & 2
 \end{aligned}$$

muss die Bremse mit dem folgenden Bremsmoment ausgelegt werden:

$$M_{Br} = \text{Bremsmoment} = 7,36 \text{ Nm}$$

Tabelle 23: Kugelgewindespindel – Faktoren (KSH 2008)

Bezeichnung	i [-]	Typ dxP	f_M [mm]	M_0 [Nm]	η_{ges} [-]
KSH - 1 2 : 1	2	Tr 24 x 5	1,16	1,7	0,34
KSH - 1 2 : 1	2	KGS 25 x 5	0,55	1,6	0,72
KSH - 1 2 : 1	2	KGS 25 x 10	1,11	1,6	0,72
KSH - 1 3 : 1	3	TR 24 x 5	0,79	1,6	0,33
KSH - 1 3 : 1	3	KGS 25 x 5	0,38	1,5	0,70
KSH - 1 3 : 1	3	KGS 25 x 10	0,75	1,5	0,70
KSH - 2 2 : 1	2	TR 40 x 7	1,67	2,2	0,33
KSH - 2 2 : 1	2	KGS 32 x 10	1,11	2,1	0,72
KSH - 2 2 : 1	2	KGS 32 x 20	2,21	2,1	0,72
KSH - 2 2 : 1	2	KGS 40 x 5	0,55	2,1	0,72
KSH - 2 2 : 1	2	KGS 40 x 10	1,11	2,1	0,72
KSH - 2 2 : 1	2	TR 40 x 20	2,21	2,1	0,72
KSH - 2 3 : 1	3	KGS 40 x 7	1,14	2,1	0,33
KSH - 2 3 : 1	3	KGS 32 x 10	0,75	2	0,70
KSH - 2 3 : 1	3	KGS 32 x 20	1,51	2	0,70
KSH - 2 3 : 1	3	KGS 40 x 5	0,38	2	0,70
KSH - 2 3 : 1	3	KGS 40 x 10	0,75	2	0,70
KSH - 2 3 : 1	3	KGS 40 x 20	1,51	2	0,30
KSH - 3 2 : 1	2	TR 60 x 9	2,41	4,2	0,72
KSH - 3 2 : 1	2	KGS 63 x 10	1,11	4,1	0,72
KSH - 3 2 : 1	2	KGS 63 x 20	2,21	4,1	0,29
KSH - 3 3 : 1	3	TR 60 x 9	1,64	4,1	0,71
KSH - 3 3 : 1	3	KGS 63 x 10	0,75	4,1	0,70
KSH 3 3 : 1	3	KGS 63 x 20	1,51	4,1	0,70

Nun gilt es das notwendige Antriebsmoment zu berechnen. Für die schnellere Berechnung wird der Faktor f_M eingeführt. Dieser Faktor beinhaltet den Gesamtwirkungsgrad, die Steigung und die Übersetzung.

$$M_{an} = F_{eff} \cdot f_M + M_0 \quad (22)$$

Mit den folgenden Faktoren

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= \text{Effektive Hublast des Hubgetriebes} &= & 6,43 \text{ kN} \\
 f_M &= \text{Faktor für alle Standardhubgetriebe} &= & 2,21 \text{ mm} \\
 M_0 &= \text{Leerlaufmoment} &= & 2,10 \text{ Nm} \\
 P &= \text{Spindelsteigung} &= & 20 \text{ mm} \\
 n_{ges} &= \text{Gesamtwirkungsgrad} &= & 0,72 \\
 i &= \text{Überstezung des Hubgetriebes} &= & 2
 \end{aligned}$$

ergibt sich das Antriebsmoment zu

$$M_{an} = \text{Antriebsmoment} = 16,30 \text{ Nm}$$

Die benötigte Antriebsdrehzahl für eine bestimmte Hubgeschwindigkeit errechnet sich wie folgt:

$$n_{an} = \frac{v_{Hub} \cdot 1000}{P} \cdot i \quad (23)$$

wobei

$$\begin{aligned}
 P &= \text{Steigung der Spindel} &= & 20 \text{ mm} \\
 V_{hub} &= \text{Geforderte Hubgeschwindigkeit} &= & 10 \text{ m/min} \\
 i &= \text{Übersetzung des Hubgetriebes} &= & 2
 \end{aligned}$$

Die Antriebsdrehzahl

$$n_{an} = \text{Antriebsdrehzahl} = 1000$$

ist im Vergleich zur maximalen Drehzahl kleiner.

$$n_{max} = \text{Maximale Drehzahl} = 1500$$

Somit ist die folgende notwendige Bedingung erfüllt:

$$n_{an} < n_{max}$$

Die für das Bewegen des Fahrkorbes benötigte Antriebsleistung für eine bestimmte Hubanlage berechnet sich folgendermaßen:

$$P_{an} = \frac{M_{ges} \cdot n_{an}}{9550} \quad (24)$$

Der Faktor 9550 wird dimensionslos eingesetzt. Die nachfolgende Umrechnung zeigt die Umwandlung der Einheiten.

$$[P] = \text{kW} = \text{Nm} \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{\text{Nm} \cdot 2\pi}{1000 \cdot 60\text{s}} = \text{Nm} \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0,00105 = \frac{\text{Nm} \cdot \text{rad}}{9550\text{s}} = \text{kW}$$

mit

$$\begin{aligned} M_{ges} &= \text{Gesamtantriebsmoment} = 16,30 \text{ Nm} \\ n_{an} &= \text{Antriebsdrehzahl} = 1000 \end{aligned}$$

ergibt sich die Antriebsleistung zu:

$$P_{an} = \text{Antriebsleistung} = 1,71 \text{ kW}$$

Zusammengefasst muss der ausgewählte Motor den folgenden Leistungsdaten entsprechen:

$$\begin{aligned} \text{Antriebsleistung } P_{an} &= 1,71 \text{ kW} \\ \text{Antriebsmoment } M_{an} &= 16,30 \text{ Nm} \\ \text{Antriebsdrehzahl } n_{an} &= 1000 \text{ 1/min} \\ \text{Bremsmoment } M_{Br} &= 7,36 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Vergleicht man die notwendigen Leistungsdaten mit den möglichen Elektromotoren in Tabelle 24, so fällt die Entscheidung auf den Motortyp **DV 100 L4**. Für diesen gelten die folgenden Leistungsdaten:

$$\begin{aligned} \text{Antriebsleistung } P_{an} &= 3,00 \text{ kW} \\ \text{Antriebsmoment } M_{an} &= 20,50 \text{ Nm} \\ \text{Antriebsdrehzahl } n_{an} &= 1400 \text{ 1/min} \\ \text{Bremsmoment } M_{Br} &= 40,00 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Tabelle 24: Motortypen – Leistungsdaten [GM 2006]

Motortyp	P_N	n_N	I_N	$\cos\varphi$	$\eta_{75\%}$	I_A/I_N	M_A/M_N	J_{Mot}		Z_0	M_{Bmax}	m^1	
	M_N								2			3	2
	[kW]	[1/min]	380-415 V (400 V)		[%]		M_H/M_N	[10 ⁻⁴ kgm ²]		BG ⁴	[Nm]	[kg]	
	[Nm]		[A]							BGE ⁵			
DT56M4	0.09 0.66	1300	0.31 (0.29)	0.68	-	2.6	2.1 1.8	1.1	1.2	10000 -	0.8	6	
DT56L4	0.12 0.88	1300	0.46 (0.42)	0.68	-	2.6		1.1	1.2	10000 -	1.2	6	
DR63S4	0.12 0.83	1380	0.39 (0.39)	0.69	-	3.3	2.4 2.2	3.6	4.8	10000 -	2.4	6.1	7.6
DR63M4	0.18 1.3	1320	0.55 (0.55)	0.78	-	2.9	1.8 1.7	3.6	4.8	10000 -	3.2	6.1	7.6
DR63L4	0.25 1.8	1300	0.73 (0.68)	0.81	-	2.8	1.8 1.7	4.4	5.6	10000 -	3.2	6.7	8.2
DT71D4	0.37 2.6	1380	1.24 (1.15)	0.76	-	3.0	1.8 1.7	4.6	5.5	6000 9500	5	7.0	9.9
DT80K4	0.55 3.9	1360	1.75 (1.75)	0.72	-	3.4	2.1 1.8	6.6	7.5	4100 11000	10	9.9	12.7
DT80N4	0.75 5.2	1380	2.15 (2.1)	0.73	-	3.8	2.2 2.0	8.7	9.6	5200 14000	10	11.5	14.3
DT90S4	1.1 7.5	1400	2.8 (2.8)	0.77	77.5 76.5	4.3	2.0 1.9	25	31	2500 6300	20	16	26
DT90L4	1.5 10.2	1410	3.7 (3.55)	0.78	80.2 79.0	5.3	2.6 2.3	34	40	3000 7600	20	18	28
DV100M4	2.2 15	1410	4.9 (4.7)	0.83	82.8 82.0	5.9	2.7 2.3	53	59	1800 8500	40	27	37
DV100L4	3 20.5	1400	6.5 (6.3)	0.83	84.5 83.0	5.6	2.7 2.2	65	71	1800 7600	40	30	40
DV112M4	4 26.9	1420	8.7 (8.7)	0.84	85.9 84.2	5.4	2.4 2.1	98	110	- 3800	55	36	45
DV132S4	5.5 36.7	1430	11.4 (11.0)	0.85	87.6 85.7	6.0	2.7 2.4	146	158	- 3000	75	45	54
DV132M4	7.5 50.1	1430	15.5 (15.5)	0.85	89.5 87.5	6.2	2.1 2.0	280	330	- 1700	100	66	90
DV132ML4	9.2 61	1440	18.7 (18.1)	0.84	89.6 88.0	6.0	2.5 2.0	330	380	- 1200	150	75	100
DV160M4	11 72.9	1440	22.5 (22.5)	0.83	88.9 88.5	6.0	2.5 2.3	398	448	- 1200	150	84	109
DV160L4	15 98.1	1460	31.0 (29.5)	0.82	90.3 90.0	5.5	2.4 1.8	925	1060	- 1000	200	124	166
DV180M4	18.5 121	1465	38.5 (37)	0.80	90.8 90.0	5.9	2.6 2.0	1120	1255 1350	- 1300	300 3007	147	188 192
DV180L4	22 143	1465	46 (42.5)	0.82	91.4 90.5	6.0	2.7 2.0	1290	1425 1520	- 650	300 3007	158	200 204
DV200L4	30 195	1470	57 (55)	0.86	91.8 91.5	6.5	2.8 2.0	2340	2475 2570	- 600	300 6007	244	295 299
DV225S4	37 240	1470	70 (67)	0.87	93.2 92.5	6.5	2.8 2.0	3010	3145 3240	- 360	300 6007	296	347 351
DV225M4	45 292	1470	86 (83)	0.85	93.8 93.0	7.3	3.3 2.0	3570	3705 3800	- 300	300 6007	325	377 381
DV250M4	55 356	1475	106 (102)	0.83	94.0 93.8	6.0	2.7 2.0	6300	6600 6730	- 200	600 12007	448	528 538
DV280S4	75 483	1480	142 (138)	0.83	94.2 94.4	7.2	3.2 2.2	8925	9225 9355	- 150	600 12007	520	600 610
DV280M4	90 581	1480	173 (170)	0.81	94.4 94.3	7.1	3.3 2.2	8925 93557	9226 -	- 100	600 12007	520	600 610

¹ gilt für Flanschmotor
² ohne Bremse
³ mit Bremse
⁴ Betrieb mit Bremsenansteuerung BG
⁵ Betrieb mit Bremsenansteuerung BGE
⁶ Nur in Komb. mit Stirnradg. R07, RF07, R07F oder Spiroplan®-Getriebe W10, WF10, WA10, WAF10
⁷ Zweischeibenbremse

Das maximale Antriebsmoment ist mit 60 Nm (Tabelle 25) deutlich größer als das tatsächlich notwendige Antriebsmoment mit 20,50 Nm und erfüllt somit die notwendige Bedingung.

$$F_{r,max} = \text{Maximale Radialkraft der Antriebswelle} = 2,5$$

$$M_{max} = \text{Maximales Antriebsmoment} = 60 \text{ Nm}$$

$$M_{max} > M_{an} = 20,50 \text{ Nm}$$

Tabelle 25: Antrieb – Maximales Moment [KSH 2008]

Bezeichnung	M_{max} [Nm]	$F_{r,max}$ [kN]
KSH - 1 2 : 1	16	0,3
KSH - 1 3 : 1	12	0,3
KSH - 2 2 : 1	60	0,6
KSH - 2 3 : 1	40	0,6
KSH - 3 2 : 1	200	2,5
KSH - 3 3 : 1	135	2,5

In den meisten Fällen weicht die benötigte Antriebsdrehzahl von der Motordrehzahl ab. Die tatsächliche Hubgeschwindigkeit, die mit der Motordrehzahl erreicht wird, berechnet sich wie folgt:

$$v_{Hub,tat} = \frac{n_{Motor} \cdot P}{1000 \cdot i} \quad (25)$$

Mit

$$n_{Motor} = \text{Drehzahl des Motors} = 1400 \text{ 1/min}$$

$$P = \text{Steigung der Spindel} = 20 \text{ mm}$$

$$i = \text{Übersetzung des Hubgetriebes} = 2$$

ergibt sich die tatsächliche Hubgeschwindigkeit zu

$$v_{Hub,tat} = \text{Tatsächliche Hubgeschwindigkeit} = 14 \text{ m/min}$$

Beim Gehäuse fällt die Entscheidung aufgrund von Tabelle 26 auf Grauguss.

Tabelle 26: Gehäuse – Material [KSH 2008]

Hubgetriebe Größe	Al 1)	GG 2)	Inox/VA 3)	St 4)
KSH - 1	-	+	-	-
KSH - 2	-	+	-	-
KSH - 3	-	+	-	-

1) AlCuMgPu F34
 2) HSG 1-5 GG-28; HSG -200 GGG-40;KSH-2 GG-25
 3) 1,4305
 4) St 52-3

Auslegung der Spindel bezüglich der kritischen Knickkraft

Im zweiten Schritt muss nun ausgeschlossen werden, dass die Spindel unter der Last des besetzten Fahrkorbs einknickt. Die Berechnung erfolgt aufgrund der beidseitigen festen Einspannung nach der Knickformel für den vierten Euler-Fall. Die Spindel, welche einen Durchmesser von 32mm vorweist und aus Stahl 16McCr5 gefertigt ist, wird mit einer Last von 6,4 KN belastet (Abbildung 59).

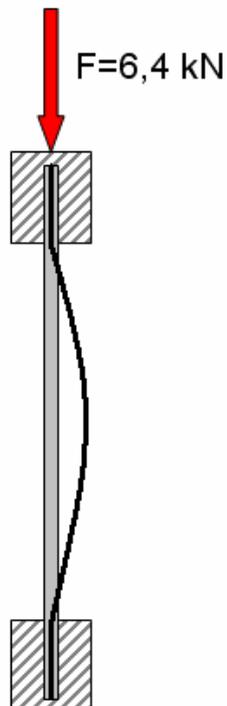


Abbildung 59: Spindel – unter Belastung

Für die Berechnung der zulässigen Knickkraft wird das Flächenträgheitsmoment der Spindel benötigt. Dieses beträgt:

$$I_y = \frac{\pi \cdot d^4}{36} = \frac{\pi \cdot 32 \text{ mm}^4}{36} = 91505,5 \text{ mm}^4 \quad (26)$$

Die zulässige Knickkraft berechnet sich mit

$$l_K = 0,5 \cdot l \quad (27)$$

und

$$F_K = \pi^2 \cdot E \cdot \frac{I_y}{l_K^2} \quad (28)$$

zu

$$F_K = \pi^2 E \frac{I_y}{(0,5 \cdot l)^2} = \pi^2 \cdot 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{91505,5 \text{ mm}^4}{(0,5 \cdot 5640 \text{ mm})^2} = 23848 \text{ N} = 23,848 \text{ kN} \quad (29)$$

Da die tatsächliche Kraft F mit 6,4 kN vergleichsweise klein ist, knickt die Spindel unter der vorhandenen Kraft nicht ein.

4.4.4 Antrieb – Konstruktive Umsetzung

Nun gilt es, die grundsätzliche konstruktive Umsetzung des Antriebs darzustellen. Wie im vorigen Kapitel beschrieben, soll dieser als Spindelhubgetriebe ausgeführt werden. Dieses wird in der Abbildung 60 beispielhaft dargestellt. In dieser Abbildung kann der Betrachter auch die am Rahmen angebrachte Verlängerung erkennen. Diese Verlängerung ist notwendig, damit die Spindel nicht außerhalb des Flugzeugrumpfes angebracht werden muss.

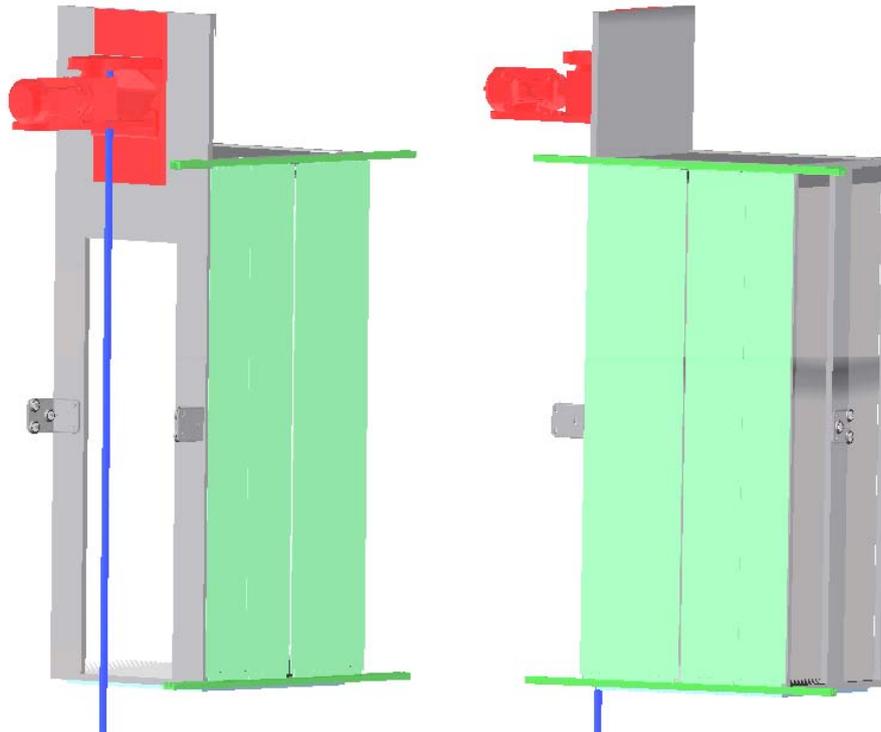


Abbildung 60: Antrieb – Isometrische Ansicht

Aufgrund des verhältnismäßig großen Platzbedarfs muss der Antrieb senkrecht zur Fahrkorbwand angebracht werden. Die Spindel wird hierfür oben und unten im Flugzeug mit dessen Primärstruktur fest verbunden. An die Spindel schließt zuerst das Getriebe und im zweiten Schritt der Motor an. Getriebe und Motor sind über eine Welle-Nabe-Verbindung miteinander verbunden. Mit Hilfe einer Metallkonstruktion sind beide wiederum mit dem Fahrkorb verbunden (Abbildung 61).

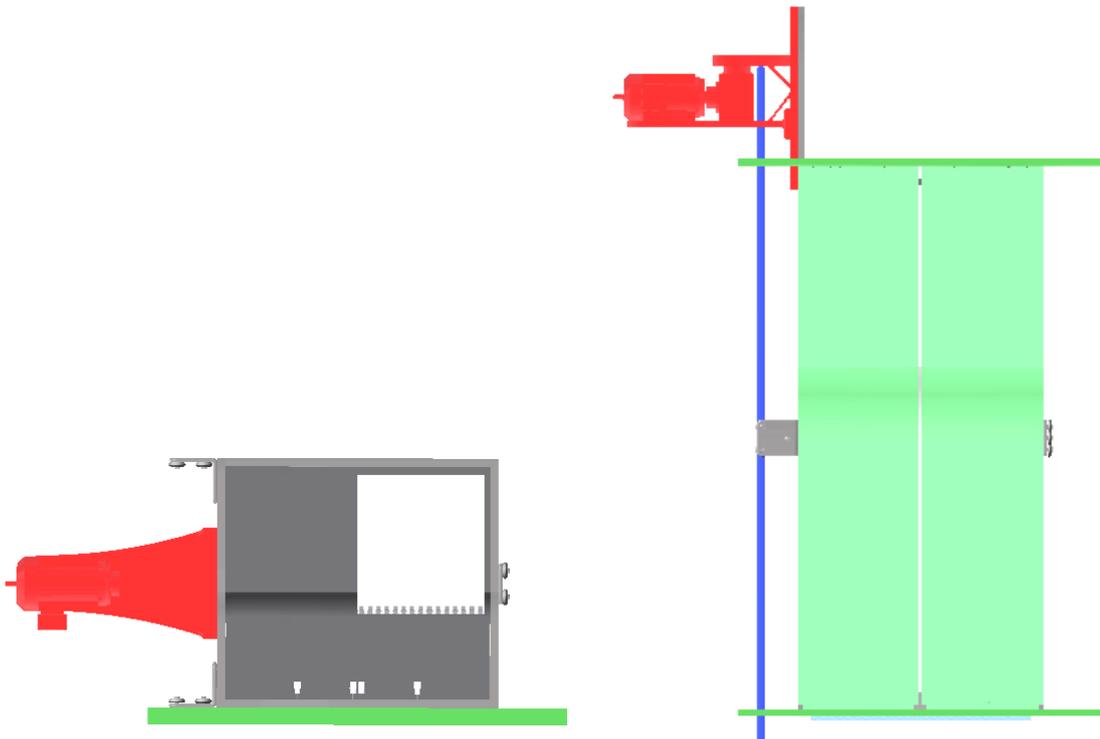


Abbildung 61: Antrieb – Draufsicht und Seitenansicht

Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigen einen ersten Überblick dieser Befestigung.

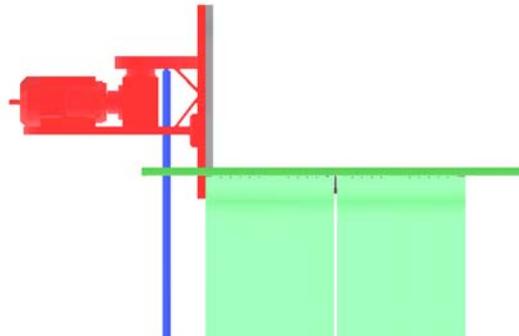


Abbildung 62: Antrieb – Befestigung

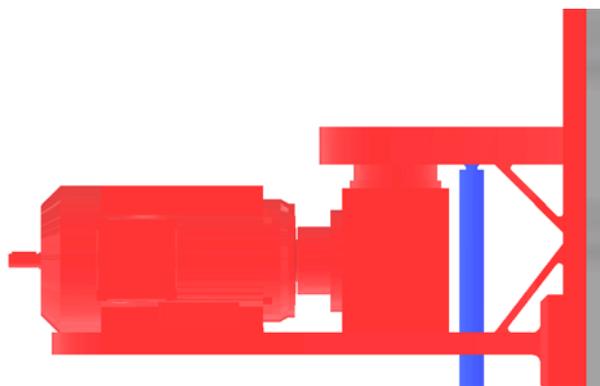


Abbildung 63: Antrieb – Detailansicht

Mit Hilfe der nächsten beiden Darstellungen (Abbildung 64, Abbildung 65) kann der obere Teil der zweiteilig ausgeführten Befestigung wie folgt beschrieben werden: Beim oberen Befestigungsmodul handelt es sich um die größere der beiden Komponenten. Die hinten zu sehende Platte stellt den Grundkörper der Befestigung dar. An diese schließt sich im oberen Bereich eine weitere Platte an. Diese ist halbrund ausgeführt und senkrecht zur Grundplatte angebracht. Um die Spindel aufzunehmen ist eine Bohrung, welche die gesamte halbrunde Platte durchdringt, vorgesehen. Zusätzlich dazu wird an derselben Stelle ein Sackloch eingebracht, welches ein Kugellager aufnimmt. Das Kugellager verringert die Reibung zwischen Spindel und Befestigung. Um die halbrunde Platte zu stützen, wurde zwischen dieser und dem Grundkörper eine winklig befestigte Strebe angebracht. An ihrem unteren Ende sind Bohrungen vorgesehen, welche später für das Zusammenfügen der zweiteiligen Befestigung notwendig sind.

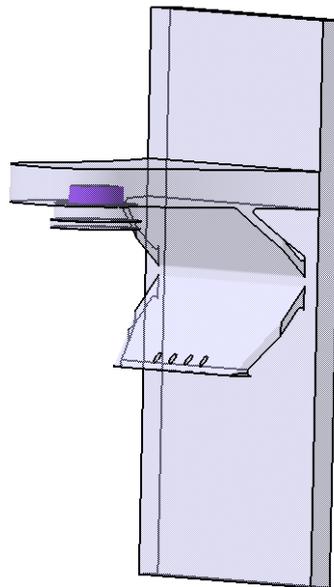


Abbildung 64: Befestigung oben – Isometrische Ansicht

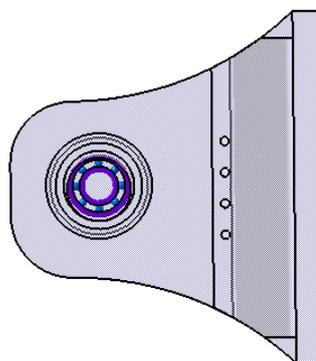


Abbildung 65: Befestigung oben – Draufsicht

Der untere Teil der Befestigung ist dem oberen ähnlich. Auch er ist mit einer Bohrung sowie einem Kugellager ausgeführt. Allerdings hat die Platte eine deutlich größere Länge, um Getriebe und Motor tragen zu können. Zusätzlich sind Einkerbungen zum Positionieren des Motors angebracht. Um sowohl diesen als auch das Getriebe befestigen zu können, wurden an den entsprechenden Stellen Bohrungen vorgesehen (Abbildung 66, Abbildung 67). Mit Hilfe der im oberen Teil der Befestigung angebrachten Bohrungen kann nun die gesamte Befestigung zusammengefügt werden (Abbildung 68).

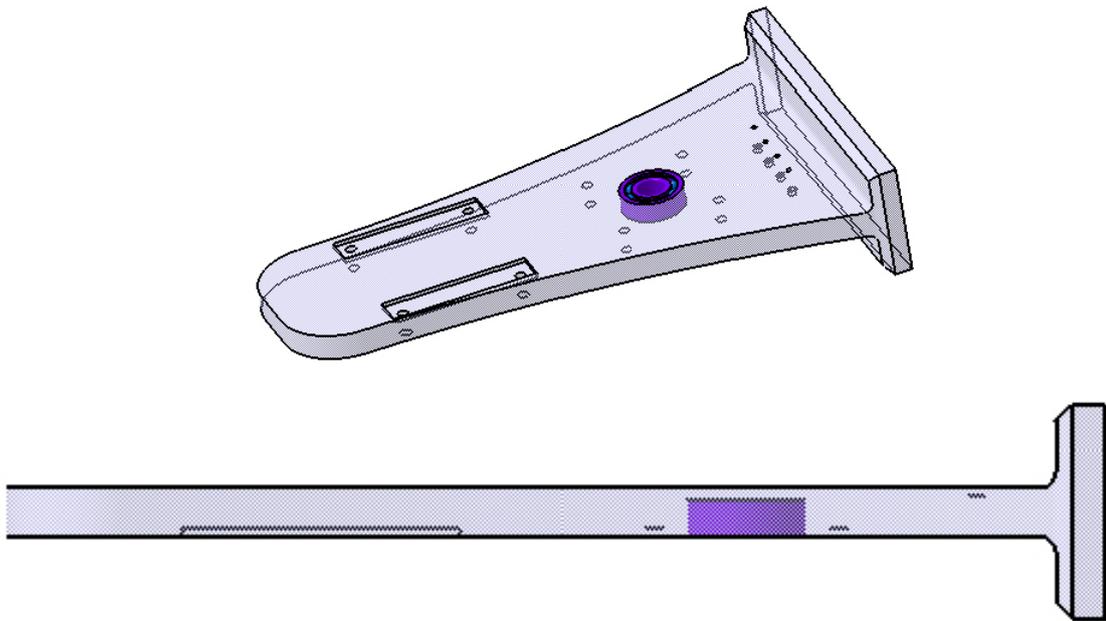


Abbildung 66: Befestigung unten – Isometrische Ansicht

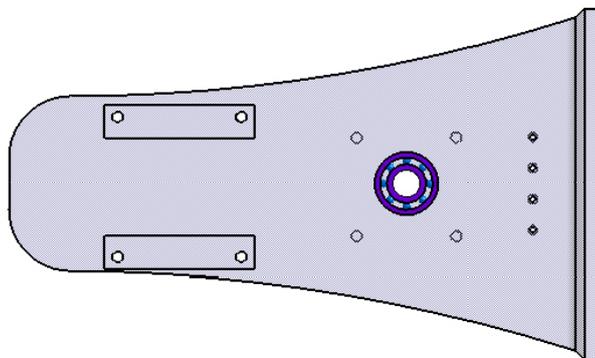


Abbildung 67: Befestigung unten – Draufsicht

Zusammgebaut ergibt sich dann das folgende Bild:

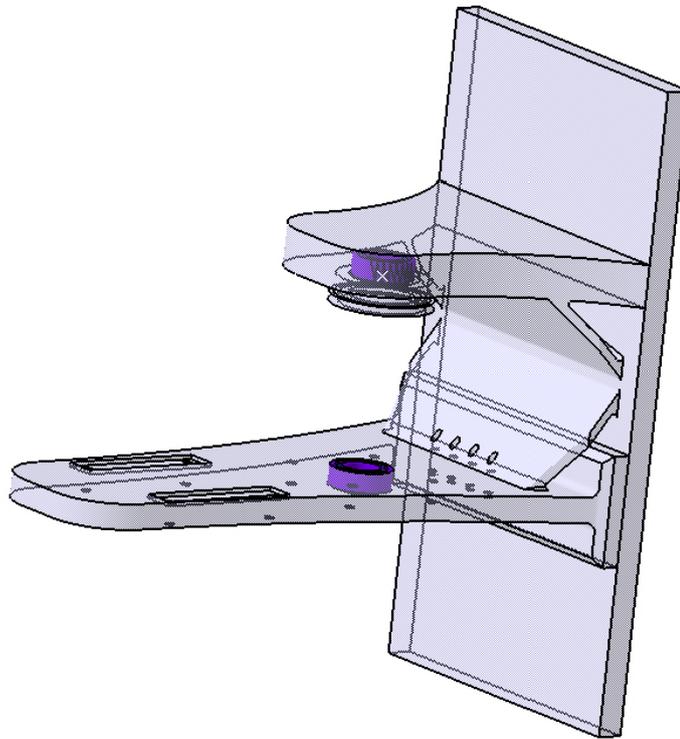


Abbildung 68: Befestigung gesamt – Isometrische Ansicht

Die Massen der einzelnen Teile sind in Tabelle 27 noch einmal dargestellt:

Tabelle 27: Antrieb – Masse

Teile des Antriebs	Masse
Motor	2 kg
Spindel	2 kg
Bremse	2 kg
Zubehör	2 kg
gesamt	8 kg

4.5 Führungsschienen

4.5.1 Führungsschienen – Grundkonfiguration

Im letzten Kapitel wurde der Antrieb des Fahrstuhls konstruiert. Nun ist es wichtig, dass dieser während der Bewegung in die vorgegebene Richtung geführt wird. Hierfür werden Führungsschienen benutzt. Diese müssen den Fahrkorb über eine Strecke von ca. 5600 mm lenken. Innerhalb des Frachtraumes stellt die Integration von Führungsschienen keine Herausforderung dar, da diese dauerhaft angebracht werden können. Im Bereich der Kabine sowie zwischen Flugzeugrumpf und Rollfeld können die Schienen nicht dauerhaft integriert werden. Wie in Abbildung 69 dargestellt ist, müssen die Führungsschienen demnächst in zwei Teile halbiert werden, welche dann zu einem Teleskopsystem kombiniert werden. Die zweiten Schienen werden mit Hilfe von Schlitten an den ersten Schienen entlang geführt. Somit kann mit einer verstaute Länge von 2500 mm eine Höhe von 7000 mm überwunden werden.

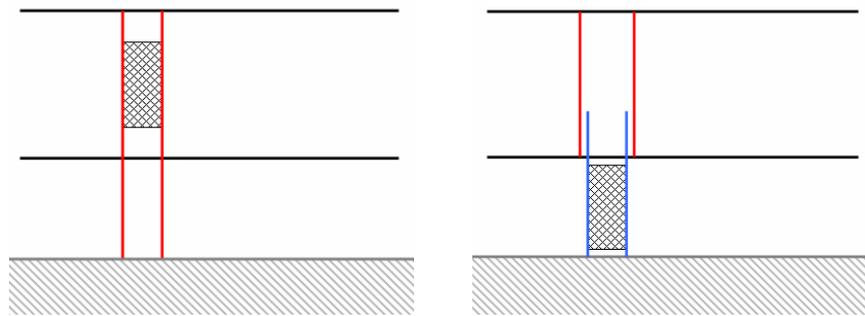


Abbildung 69: Schienen – mögliche Ausführungen

In Abbildung 70 kann man zwei mögliche Grundkonfigurationen des Fahrkorbes betrachten. Die rechte Abbildung erweist sich allerdings aufgrund der besseren Lastaufnahme als vorteilhafter. Die in Flugrichtung wirkende Kraft beträgt laut Abbildung 89 $9g$, senkrecht zur Flugrichtung nur $3g$. Die großen Kräfte in Flugrichtung nehmen bei dieser Konstruktion die linken beiden Führungsschienen auf. Die rechte Führungsschiene ist für die Aufnahme der vergleichsweise geringen Kräfte, welche senkrecht zur Flugrichtung wirken, verantwortlich.

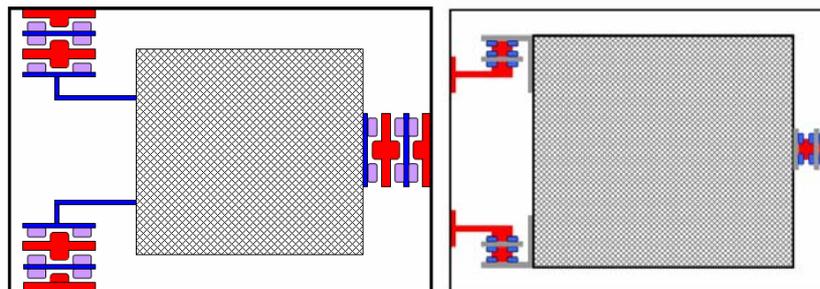


Abbildung 70: Schienensystem – Grundkonfiguration

Die Unterschiede zwischen den beiden verschiedenen Führungssystemen links und rechts am Fahrstuhl sind in Abbildung 71 und Abbildung 72 deutlich dargestellt.

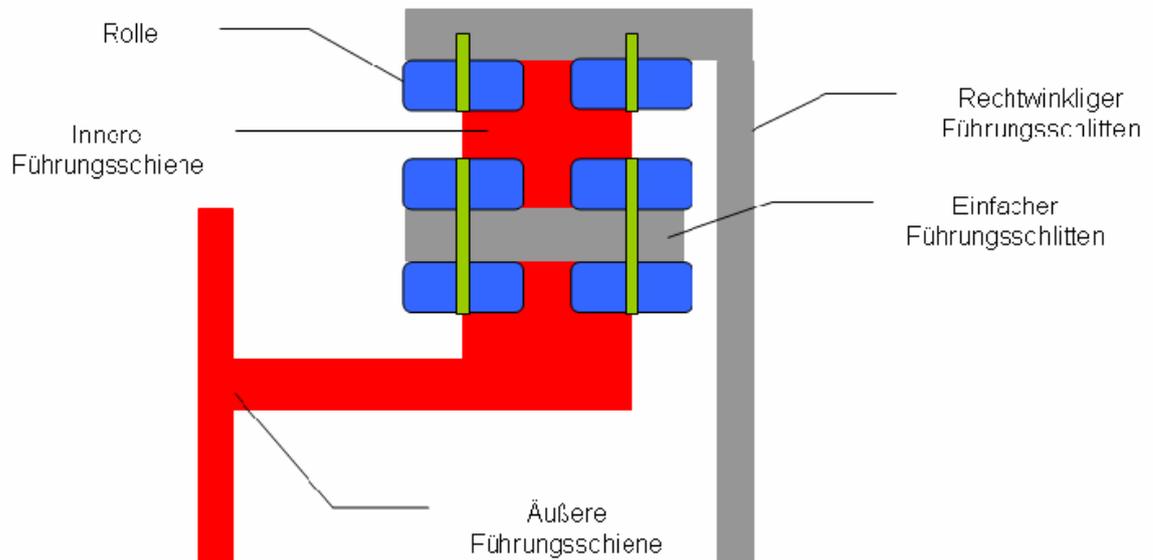


Abbildung 71: Schienensystem – linke Führungsschienen

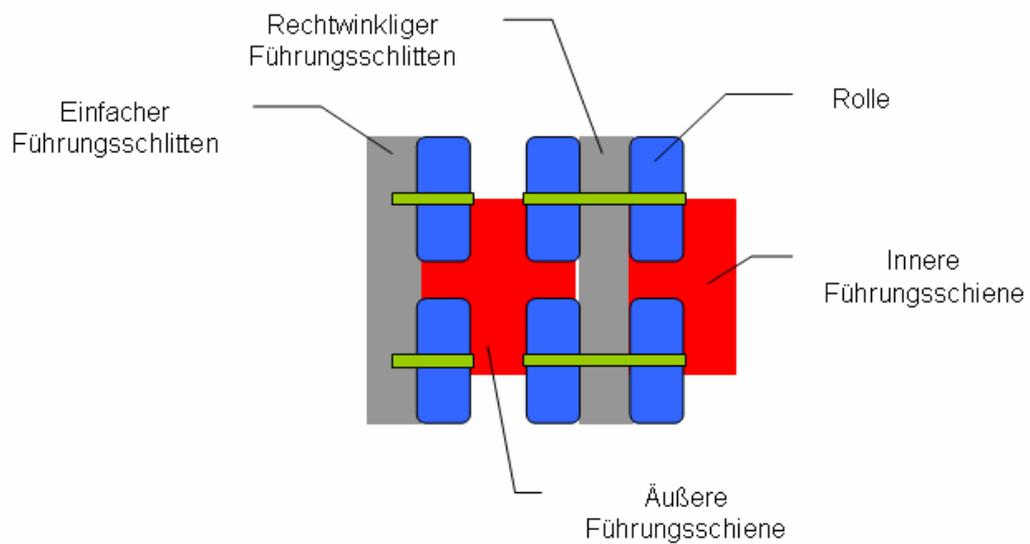


Abbildung 72: Schienensystem – rechte Führungsschienen

4.5.2 Führungsschienen – Anforderungen

Aus **DIN EN 81-1 2000** Abschnitt 10 sowie der **TRA 5.1300 1994** Kapitel 1304 ergeben sich folgende für die Führungsschienen relevante Anforderungen.

Allgemein

- Fahrkorb und Gegengewicht müssen mit Gleit- oder Rollenführungen an Führungsschienen geführt sein. (**TRA 5.1300 1994**)
- Die Führungsschienen, ihre Verbindungen und Befestigungen müssen den auf sie einwirkenden Lasten und Kräften widerstehen, um den sicheren Aufzugsbetrieb zu gewährleisten. Die Aspekte des sicheren Aufzugsbetriebes bezüglich der Führungsschienen sind:
- Fahrkorb und Gegengewicht oder Ausgleichsgewicht müssen mindestens an zwei festen Führungsschienen geführt werden. (**DIN EN 81-1 2000**)
- Die zulässigen Beanspruchungen müssen auf folgende Werte begrenzt sein:

Tabelle 3: Sicherheitsfaktoren für Führungsschienen

Lastfall	Bruchdehnung A_5	Sicherheitsfaktor
Normalbetrieb Beladen	$A_5 > 12\%$	2,25
	$8\% \leq A_5 \leq 12\%$	3,75
Ansprechen der Fangvorrichtung	$A_5 > 12\%$	1,8
	$8\% \leq A_5 \leq 12\%$	3,0

Tabelle 4: Zulässige Spannungen σ_{zul}
Werte in N/mm²

Lastfälle \ R_m	370	440	520
	σ_{zul}		
Normalbetrieb Beladen	165	195	230
Ansprechen von Sicherheitseinrichtungen	205	244	290

-
- Werkstoffe mit Dehnungen von weniger als 8% gelten als zu brüchig und dürfen nicht verwendet werden. Für Führungsschienen nach ISO 7465 können die Werte für a_{50} aus Tabelle 4 verwendet werden. (**DIN EN 81-1 2000**)
- Die Laufflächen von Führungsschienen für Fahrkörbe und Gegengewichte, auf die Fangvorrichtungen wirken, müssen gehobelt, gezogen oder gefräst sein. Andere Bearbeitungsverfahren können angewendet sein, wenn eine gleichwertige Beschaffenheit der Laufflächen erzielt und die einwandfreie Funktion der Fangvorrichtung nicht beeinträchtigt wird. (**TRA 5.1300 1994**)
- Die Führungsschienen müssen gezogen oder die Laufflächen bearbeitet sein, wenn
 - a) die Nenngeschwindigkeit über 0,4 m/s liegt oder
 - b) Bremsfangvorrichtungen verwendet werden, unabhängig von der Nenngeschwindigkeit. (**DIN EN 81-1 2000**)

4.5.3 Führungsschienen – Auslegung und Berechnung

Bei der Auslegung der Führungsschienen muss, um den Anforderungen aus **DIN EN 81-1 2000** sowie der **TRA 5.1300 1994** gerecht zu werden, die Nennlast als ungleichförmig über die Nutzfläche des Fahrkorbes verteilte Last angesehen werden. Um die Berechnung zu vereinfachen, trifft man die Annahmen, dass die Sicherheitseinrichtungen gleichzeitig an allen Führungsschienen angreifen und dass die Bremskraft gleichmäßig verteilt ist. Der Lastangriffspunkt der Massen des leeren Fahrkorbes und der am Fahrkorb hängenden Teile ist der Massenschwerpunkt des leeren Fahrkorbes. Im Lastfall Normalbetrieb ist die Nennlast als gleichförmig über drei Viertel der Nutzfläche des Fahrkorbes anzusetzen. Hierbei wird die Fläche benötigt, welche bezogen auf die Führungsschienen am ungünstigsten liegt.

Bei der Berechnung müssen die folgenden Lastfälle in Betracht gezogen werden:

- Fangen
- Normalbetrieb – Fahren
- Normalbetrieb – Be- und Entladen

Die für die Berechnung notwendigen Stoßfaktoren können der Tabelle 28 entnommen werden. Der Stoßfaktor k_1 , der durch das Ansprechen der Sicherheitseinrichtungen notwendig wird, ist von der Art der Sicherheitseinrichtung abhängig. Der Stoßfaktor k_2 beschreibt das scharfe Bremsen beim Ansprechen der elektrischen Sicherheitseinrichtung.

Tabelle 28: Führungsschienen – Stoßfaktoren (DIN EN 81-1 2000)

Stoß	Stoßfaktor	Größe
aus Ansprechen der Keilsperrfangvorrichtung oder Keilsperrklemmvorrichtung	k_1	5
aus Ansprechen der Rollensperrfangvorrichtung, der Rollenklemmvorrichtung oder der Aufsetzvorrichtung mit energiespeicherndem Puffer oder der energiespeichernden Puffer	k_1	3
aus Ansprechen der Bremsfangvorrichtung, der Bremsklemmvorrichtung, der Aufsetzvorrichtung mit energieverzehrendem Puffer oder des energieverzehrenden Puffers	k_1	2
aus Ansprechen des Leitungsbruchventils		2
beim Fahren	k_2	1,2
auf Hilfseinrichtungen	k_3	1)

1) Der Wert ist durch den Hersteller/Montagebetrieb unter Berücksichtigung der vorliegenden Verhältnisse festzulegen.

Lastfall Fangen

Bei diesem Lastfall ist der Nachweis für die folgenden kritischen Beanspruchungen notwendig:

- Biegebeanspruchung
- Knicken
- Zusammengesetzte Festigkeit
- Flanschbiegung
- Durchbiegung

Für die Biegebeanspruchung, die zusammengesetzte Festigkeit, die Flanschbiegung und die Durchbiegung sind zwei Lastfälle zu berücksichtigen. Der erste Lastfall betrachtet die Lastaufnahme in der x-Achse. Für diesen Lastfall sind die folgenden Gleichungen relevant:

$$x_p > 0 \quad (30)$$

$$y_p = 0 \quad (31)$$

$$x_Q = c + \frac{5}{8}D_x \quad (32)$$

$$y_Q = 0 \quad (33)$$

Der zweite Lastfall stellt die Lastaufnahme in der y-Achse dar. Die hierfür notwendigen Gleichungen sind im Folgenden dargestellt:

$$x_p > 0 \quad (34)$$

$$y_p = 0 \quad (35)$$

$$x_Q = c + \frac{1}{2}D_x \quad (36)$$

$$y_Q = \frac{1}{8}D_y \quad (37)$$

Die für die Gleichungen (30) bis (37) notwendigen Anmessungen können der Abbildung 73 sowie der Abbildung 74 entnommen werden.

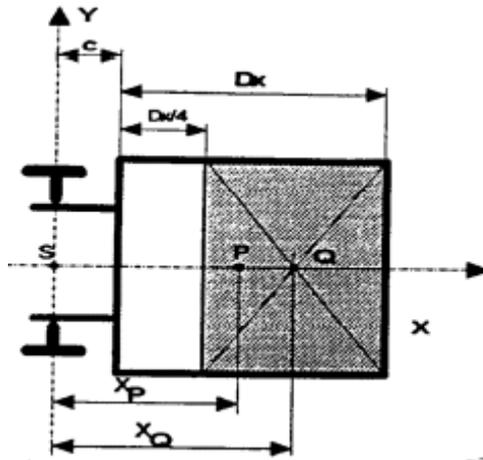


Abbildung 73: Führungsschienen – Lastaufnahme in der x-Achse (DIN EN 81-1 2000)

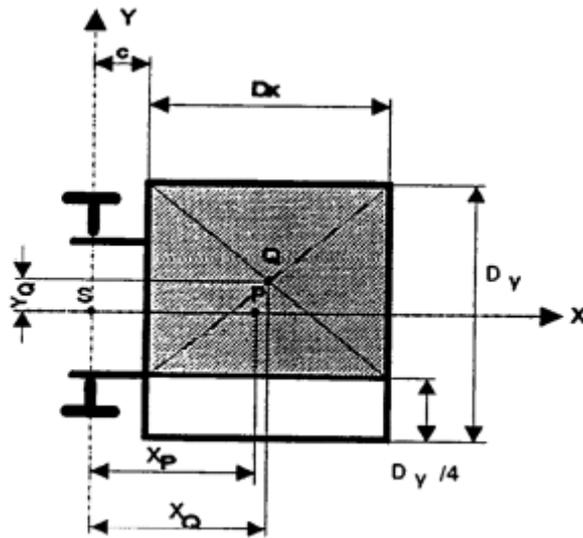


Abbildung 74: Führungsschienen – Lastaufnahme in der y-Richtung (DIN EN 81-1 2000)

LASTFALL FANGEN – BIEGEBEANSPRUCHUNG

Abhängig von der:

- Aufhängung des Fahrkorbes
- Führung des Fahrkorbes
- Last und ihrer Verteilung im Fahrkorb

erzeugen die Kräfte an den Führungsschuhen Biegebeanspruchungen in den Führungsschienen. Beim Berechnen der Biegebeanspruchung in den verschiedenen Achsen wird vorausgesetzt, dass

- die Führungsschiene ein Durchlaufträger mit gelenkigen Lagerungen in den Abständen l ist
- die für die Biegung verantwortlichen Kräfte in der Mitte zwischen benachbarten Schienenbefestigungen anzusetzen sind
- Biegemomente in der neutralen Achse des Führungsschienenprofils wirken

Die Biegebeanspruchung, welche durch die Führungskräfte auf die y -Achse der Schiene wirkt, berechnet sich mit den nachfolgenden Variablen zu:

$$F_x = \frac{k_l \cdot g \cdot (Q \cdot x_Q + P \cdot x_P)}{n \cdot h} \quad (38)$$

$$M_y = \frac{3 \cdot F_x \cdot l}{16} \quad (39)$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} \quad (40)$$

- F_x = Führungskraft in der x -Achse in N
 k_l = Stoßfaktor nach Tabelle 28
 g = Erdbeschleunigung in m/s^2
 Q = Nennlast in kg
 x_Q = Abstand des Nennlastschwerpunktes zur y -Achse in mm
 P = Masse des leeren Fahrkorbes in kg
 x_P = Abstand des Fahrkorbschwerpunktes zur y -Achse in mm
 n = Anzahl der Schienen
 h = Höhes des Fahrkorbes in mm

- M_y = Biegemoment um die y-Achse in Nm
 l = Größter Abstand zwischen den Befestigungen in m
 σ_y = Biegespannung in y-Achse in N/mm²
 W_y = Widerstandsmoment um die y-Achse in mm³

Die Biegebeanspruchung um die x-Achse der Schiene durch Führungskräfte wird wie folgt dargestellt:

$$F_y = \frac{k_1 \cdot g(Q \cdot y_Q + P \cdot y_P)}{\frac{1}{2} \cdot h} \quad (41)$$

$$M_x = \frac{3 \cdot F_y \cdot l}{16} \quad (42)$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} \quad (43)$$

Hierfür sind die folgenden Parameter relevant:

- F_y = Führungskraft in der y-Achse in N
 y_Q = Abstand von Q zur y-Achse in mm
 y_P = Abstand von P zur y-Achse in mm
 M_x = Biegemoment um die x-Achse in Nm
 σ_x = Biegespannung in x-Achse in N/mm²
 W_x = Widerstandsmoment um die x-Achse in mm³

LASTFALL FANGEN – KNICKEN

Die durch die Beanspruchung entstehende Knickkraft sowie Knickspannung wird mit Hilfe der folgenden Formeln berechnet:

$$F_K = \frac{k_1 \cdot g \cdot (P + Q)}{n} \quad (44)$$

$$\sigma_k = \frac{(F_k + k_3 \cdot M) \cdot \omega}{A} \quad (45)$$

Wobei die Parameter mit den unten dargestellten Einheiten verwendet werden müssen:

- F_K = Knickkraft an einer Führungsschiene für den Fahrkorb in N
- σ_k = Knickspannung in N/mm²
- ω = Knickzahl
- A = Querschnittsfläche einer Führungsschiene in mm²
- k_3 = Stoßfaktor

LASTFALL FANGEN – ZUSAMMENGESetzte FESTIGKEIT

Mit den folgenden Variablen :

- σ_m = Biegespannung in N/mm²
- σ_x = Biegespannung in x-Achse in N/mm²
- σ_y = Biegespannung in y-Achse in N/mm²
- σ = Zusammengesetzte Spannung aus Biegung und Druck in N/mm²
- σ_c = Zusammengesetzte Spannung aus Biegung und Knickung in N/mm²

werden die notwendigen Spannungen wie folgt berechnet:

$$\sigma_m = \sigma_x + \sigma_y \leq \sigma_{zul} \quad (46)$$

$$\sigma = \sigma_m + \frac{F_k + k_3 \cdot M}{A} \leq \sigma_{zul} \quad (47)$$

$$\sigma_c = \sigma_k + 0,9 \cdot \sigma_m \leq \sigma_{zul} \quad (48)$$

LASTFALL FANGEN – FLANSCHBIEGUNG

Mit

σ_F = Lokale Flansch-Biegespannung in n/mm²

c = Dicke der Verbindung zwischen Fuß und dem Blatt in mm

ergibt sich die Flanschbiegung zu:

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot F_x}{c^2} \leq \sigma_{zul} \quad (49)$$

LASTFALL FANGEN – DURCHBIEGUNG

Die Durchbiegung in x und in y-Richtung ist in den nächsten beiden Formeln dargestellt:

$$\delta_x = 0,7 \frac{F_x \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \leq \delta_{zul} \quad (50)$$

$$\delta_y = 0,7 \frac{F_y \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \leq \delta_{zul} \quad (51)$$

Die Parameter sind dabei wie folgt definiert:

δ_x = Durchbiegung in der x-Achse in mm

I_y = Trägheitsmoment bezogen auf x-Achse in mm⁴

δ_y = Durchbiegung in der y-Achse in mm

I_x = Trägheitsmoment bezogen auf y-Achse in mm⁴

Lastfall Normalbetrieb – Fahren

LASTFALL FAHREN - BIEGEBEANSPRUCHUNG

Die Biegebeanspruchung beim Fahren wird mit Hilfe der folgenden Formeln berechnet:

$$F_x = \frac{k_2 \cdot g \cdot (Q \cdot (x_Q - x_s) + P \cdot (x_P - x_s))}{n \cdot h} \quad (52)$$

$$M_y = \frac{3 \cdot F_x \cdot l}{16} \quad (53)$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} \quad (54)$$

$$F_y = \frac{k_2 \cdot g \cdot (Q \cdot (y_Q - y_s) + P \cdot (y_P - y_s))}{n/2 \cdot h} \quad (55)$$

$$M_x = \frac{3 \cdot F_y \cdot l}{16} \quad (56)$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} \quad (57)$$

Für diese Berechnungen sind folgende Parameter relevant:

k_2 = Stoßfaktor

x_s = Abstand von S zur y-Achse

y_s = Abstand von S zur x-Achse

LASTFALL FAHREN - ZUSAMMENGESetzte FESTIGKEIT
 - FLANSCHBIEGUNG
 - DURCHBIEGUNG

Die oben genannten Belastungen werden mit Hilfe der folgenden Gleichungen berechnet:

$$\sigma_m = \sigma_x + \sigma_y \leq \sigma_{zul} \quad (58)$$

$$\sigma = \sigma_m + \frac{k_3 \cdot M}{A} \quad (59)$$

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot F_x}{c^2} \leq \sigma_{zul} \quad (60)$$

$$\delta_x = 0,7 \frac{F_x \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \leq \delta_{zul} \quad (61)$$

$$\delta_y = 0,7 \frac{F_y \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \leq \delta_{zul} \quad (62)$$

Lastfall Normalbetrieb - Beladen

Zur Berechnung der Belastung wird der folgende Lastfall vorausgesetzt:

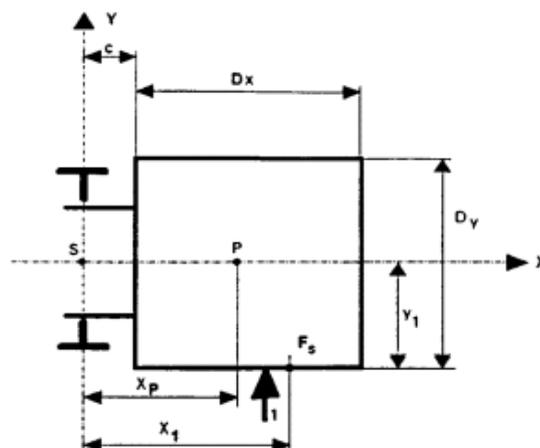


Abbildung 75: Lastfall Normalbetrieb – Beladen (DIN EN 81-1 2000)

Relevant sind hierfür die folgenden Formeln:

$$x_p > 0 \quad (63)$$

$$y_p = 0 \quad (64)$$

$$x_Q > 0 \quad (65)$$

$$y_Q = \frac{D_y}{2} \quad (66)$$

$$F_x = \frac{g \cdot P \cdot x_p + F_s \cdot x_i}{n \cdot h} \quad (67)$$

$$F_s = 0,4 \cdot g \cdot Q \quad (68)$$

$$M_y = \frac{3 \cdot F_x \cdot l}{16} \quad (69)$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} \quad (70)$$

$$F_y = \frac{F_s \cdot y_i}{\frac{1}{2} \cdot h} \quad (71)$$

$$M_x = \frac{3 \cdot F_y \cdot l}{16} \quad (72)$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} \quad (73)$$

F_s = Schwelllast

x_1 = Abstand des Zuganges zur y-Achse

y_1 = Abstand des Zuganges zur x-Achse

LASTFALL BELADEN - ZUSAMMENGESetzte FESTIGKEIT
 - FLANSCHBIEGUNG
 - DURCHBIEGUNG

Die notwendigen Daten für die zusammengesetzte Festigkeit, die Flanschbiegung und die Durchbiegung werden wie folgt berechnet:

$$\sigma_m = \sigma_x + \sigma_y \leq \sigma_{zul} \quad (74)$$

$$\sigma = \sigma_m + \frac{k_3 \cdot M}{A} \leq \sigma_{zul} \quad (75)$$

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot F_x}{c^2} \leq \sigma_{zul} \quad (76)$$

$$\delta_x = 0,7 \frac{F_x \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \leq \delta_{zul} \quad (77)$$

$$\delta_y = 0,7 \frac{F_y \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \leq \delta_{zul} \quad (78)$$

In der nun folgenden Tabelle 29 sind die Ergebnisse der Berechnung zusammengefasst.

Tabelle 29: Führungsschienen – Auswahl

geometrische Amessungen				Rucksackführung Fangen										
				Lastfall 1				Lastfall2				Knicken		
a mm	b mm	c mm	d mm	F_x N	σ_y N/mm ²	F_y N	σ_x N/mm ²	F_x N	σ_y N/mm ²	F_y N	σ_x N/mm ²	F_k N	σ_K N/mm ²	
10	100	10	10	2771,3	92	0	0	2648,7	88	221	1	9810	13	
10	60	10	10	2771,3	120	0	0	2648,7	115	221	1	9810	19	
20	20	10	20	2771,3	43	0	0	2648,7	41	221	5	9810	19	
20	15	10	20	2771,3	44	0	0	2648,7	42	221	6	9810	23	
30	13	10	5	2771,3	139	0	0	2648,7	133	221	6	9810	30	
30	13	10	2	2771,3	268	0	0	2648,7	257	221	10	9810	42	
40	13	10	2	2771,3	222	0	0	2648,7	212	221	6	9810	33	
40	13	10	2	2771,3	222	0	0	2648,7	212	221	6	9810	33	
50	550	20	2	2771,3	4	0	0	2648,7	4	221	0	9810	0	
50	650	40	5	2771,3	1	0	0	2648,7	1	221	0	9810	0	
60	750	60	10	2771,3	0	0	0	2648,7	0	221	0	9810	0	
60	750	110	20	2771,3	0	0	0	2648,7	0	221	0	9810	0	
geometrische Amessungen				Rucksackführung Fangen										
				zusammengesetzte Festigkeit										F-Biegung Lastfall 1
a mm	b mm	c mm	d mm	σ_{zul} N/mm ²	Lastfall 1		Lastfall 2				σ_F N/mm ²			
					σ_m N/mm ²	σ N/mm ²	σ_m N/mm ²	σ N/mm ²						
10	100	10	10	205	92	OK	101	OK	88	OK	97	OK	0,0071	OK
10	60	10	10	205	120	OK	134	OK	116	OK	130	OK	0,0071	OK
20	20	10	20	205	43	OK	60	OK	47	OK	63	OK	0,0071	OK
20	15	10	20	205	44	OK	63	OK	48	OK	67	OK	0,0071	OK
30	13	10	5	205	139	OK	161	OK	139	OK	161	OK	0,0071	OK
30	13	10	2	205	268	X	292	X	267	X	291	X	0,0071	OK
40	13	10	2	205	222	X	240	X	218	X	236	X	0,0071	OK
40	13	10	2	205	222	X	240	X	218	X	236	X	0,0071	OK
50	550	20	2	205	4	OK	4	OK	4	OK	4	OK	0,0071	OK
50	650	40	5	205	1	OK	1	OK	1	OK	1	OK	0,0071	OK
60	750	60	10	205	0	OK	1	OK	0	OK	1	OK	0,0071	OK
60	750	110	20	205	0	OK	0	OK	0	OK	0	OK	0,0071	OK
geometrische Amessungen				Rucksackführung Fangen										
				F-Biegung Lastfall 2		Durchbiegung						Lastfall 2		
a mm	b mm	c mm	d mm	σ_F N/mm ²	δ_{zul} mm	Lastfall 1								
						δ_x mm	δ_y mm	δ_x mm	δ_y mm					
10	100	10	10	0,0068	OK	1	0,22	OK	0,00	OK	0,0076	OK	0,0002	OK
10	60	10	10	0,0068	OK	1	0,28	OK	0,00	OK	0,0133	OK	0,001	OK
20	20	10	20	0,0068	OK	1	0,07	OK	0,00	OK	0,0015	OK	0,0122	OK
20	15	10	20	0,0068	OK	1	0,07	OK	0,00	OK	0,0017	OK	0,0145	OK
30	13	10	5	0,0068	OK	1	0,44	OK	0,00	OK	0,0254	OK	0,0135	OK
30	13	10	2	0,0068	OK	1	1,06	X	0,00	OK	0,1108	OK	0,0263	OK
40	13	10	2	0,0068	OK	1	0,87	OK	0,00	OK	0,0744	OK	0,0113	OK
40	13	10	2	0,0068	OK	1	0,87	OK	0,00	OK	0,0744	OK	0,0113	OK
50	550	20	2	0,0068	OK	1	0,01	OK	0,00	OK	1E-05	OK	9E-07	OK
50	650	40	5	0,0068	OK	1	0,00	OK	0,00	OK	3E-07	OK	3E-07	OK
60	750	60	10	0,0068	OK	1	0,00	OK	0,00	OK	4E-08	OK	1E-07	OK
60	750	110	20	0,0068	OK	1	0,00	OK	0,00	OK	4E-09	OK	6E-08	OK

geometrische Amessungen				Rucksackführung Fahren										zug. Festigkeit	
				Biegen								Lastfall 1			
				Lastfall 1				Lastfall 2						σ_{zul} N/mm ²	σ_m N/mm ²
a mm	b mm	c mm	d mm	F_x N	σ_y N/mm ²	F_y N	σ_x N/mm ²	F_x N	σ_y N/mm ²	F_y N	σ_x N/mm ²				
10	100	10	10	665,12	22,008	0	0,00	635,69	21,034	52,97	0,13	205	22,008	OK	
10	60	10	10	665,12	28,779	0	27,506	635,69	27,506	52,974	0,3556	205	28,779	OK	
20	20	10	20	665,12	10,392	0	9,9326	635,69	9,9326	52,974	1,2416	205	10,392	OK	
20	15	10	20	665,12	10,49	0	10,025	635,69	10,025	52,974	1,375	205	10,49	OK	
30	13	10	5	665,12	33,305	0	31,832	635,69	31,832	52,974	1,5154	205	33,305	OK	
30	13	10	2	665,12	64,431	0	61,58	635,69	61,58	52,974	2,4531	205	64,431	OK	
40	13	10	2	665,12	53,295	0	50,937	635,69	50,937	52,974	1,3432	205	53,295	OK	
40	13	10	2	665,12	53,295	0	50,937	635,69	50,937	52,974	1,3432	205	53,295	OK	
50	550	20	2	665,12	0,908	0	0,8678	635,69	0,8678	52,974	0,0024	205	0,908	OK	
50	650	40	5	665,12	0,196	0	0,1873	635,69	0,1873	52,974	0,0009	205	0,196	OK	
60	750	60	10	665,12	0,0772	0	0,0738	635,69	0,0738	52,974	0,0004	205	0,0772	OK	
60	750	110	20	665,12	0,0232	0	0,0221	635,69	0,0221	52,974	0,0002	205	0,0232	OK	
geometrische Amessungen				Rucksackführung Fahren											
				zug. Festigkeit						Flanschbiegung					
				Lastfall 1		Lastfall 2		Lastfall 1		Lastfall 2					
a mm	b mm	c mm	d mm	σ N/mm ²	σ_m N/mm ²	σ N/mm ²	σ_F N/mm ²	σ_F N/mm ²							
10	100	10	10	22,008	OK	21,166	OK	21,166	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
10	60	10	10	28,779	OK	27,861	OK	27,861	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
20	20	10	20	10,392	OK	11,174	OK	11,174	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
20	15	10	20	10,49	OK	11,4	OK	11,4	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
30	13	10	5	33,305	OK	33,347	OK	33,347	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
30	13	10	2	64,431	OK	64,033	OK	64,033	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
40	13	10	2	53,295	OK	52,28	OK	52,28	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
40	13	10	2	53,295	OK	52,28	OK	52,28	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
50	550	20	2	0,908	OK	0,8703	OK	0,8703	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
50	650	40	5	0,196	OK	0,1882	OK	0,1882	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
60	750	60	10	0,0772	OK	0,0742	OK	0,0742	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
60	750	110	20	0,0232	OK	0,0224	OK	0,0224	OK	0,0017	OK	0,0016	OK		
geometrische Amessungen				Rucksackführung Fahren											
				Durchbiegung										Beladen Biegen	
				Lastfall 1		Lastfall 2		Lastfall 1		Lastfall 2					
a mm	b mm	c mm	d mm	δ_{zul} mm	δ_x mm	δ_y mm	δ_x mm	δ_y mm	σ_y N/mm ²	σ_x N/mm ²					
10	100	10	10	1	0,0519	OK	0	OK	0,0519	OK	0,0007	OK	11,36	0,18	
10	60	10	10	1	0,0679	OK	0	OK	0,0679	OK	0,003	OK	14,86	0,47	
20	20	10	20	1	0,0163	OK	0	OK	0,0163	OK	0,0352	OK	5,36	1,66	
20	15	10	20	1	0,0165	OK	0	OK	0,0165	OK	0,0418	OK	5,41	1,83	
30	13	10	5	1	0,1048	OK	0	OK	0,1048	OK	0,0388	OK	17,19	2,02	
30	13	10	2	1	0,2534	OK	0	OK	0,2534	OK	0,0756	OK	33,26	3,27	
40	13	10	2	1	0,2096	OK	0	OK	0,2096	OK	0,0327	OK	27,51	1,79	
40	13	10	2	1	0,2096	OK	0	OK	0,2096	OK	0,0327	OK	27,51	1,79	
50	550	20	2	1	0,0019	OK	0	OK	0,0019	OK	2E-06	OK	0,47	0,00	
50	650	40	5	1	0,0002	OK	0	OK	0,0002	OK	7E-07	OK	0,10	0,00	
60	750	60	10	1	5E-05	OK	0	OK	5E-05	OK	3E-07	OK	0,04	0,00	
60	750	110	20	1	8E-06	OK	0	OK	8E-06	OK	2E-07	OK	0,01	0,00	

geometrische Amessungen				Rucksackführung										
				zusammengesetzte Festigkeit					Flansch- biegung		Durchbiegung			
a mm	b mm	c mm	d mm	σ_{zul} N/mm ²	σ_m N/mm ²	σ N/mm ²	σ_F N/mm ²	δ_x mm	δ_y mm					
10	100	10	10	205	11,537	OK	11,537	OK	0,0009	OK	0,03	OK	0,00	OK
10	60	10	10	205	15,331	OK	15,331	OK	0,0009	OK	0,04	OK	0,00	OK
20	20	10	20	205	7,0203	OK	7,0203	OK	0,0009	OK	0,01	OK	0,00	OK
20	15	10	20	205	7,2484	OK	7,2484	OK	0,0009	OK	0,01	OK	0,00	OK
30	13	10	5	205	19,214	OK	19,214	OK	0,0009	OK	0,05	OK	0,00	OK
30	13	10	2	205	36,532	OK	36,532	OK	0,0009	OK	0,13	OK	0,01	OK
40	13	10	2	205	29,303	OK	29,303	OK	0,0009	OK	0,11	OK	0,00	OK
40	13	10	2	205	29,303	OK	29,303	OK	0,0009	OK	0,11	OK	0,00	OK
50	550	20	2	205	0,472	OK	0,472	OK	0,0009	OK	0,00	OK	0,00	OK
50	650	40	5	205	0,1023	OK	0,1023	OK	0,0009	OK	0,00	OK	0,00	OK
60	750	60	10	205	0,0404	OK	0,0404	OK	0,0009	OK	0,00	OK	0,00	OK
60	750	110	20	205	0,0123	OK	0,0123	OK	0,0009	OK	0,00	OK	0,00	OK

4.5.4 Führungsschienen – konstruktive Umsetzung

Im folgenden Abschnitt werden nun die eben berechneten Führungsschienen konstruktiv ausgeführt. Ihre genaue geometrische Form kann man der Draufsicht (Abbildung 76) entnehmen. Man kann erkennen, dass die beiden linken Schienen die gleiche geometrische Form besitzen. Im Gegensatz dazu ist die rechte Schiene anders ausgeführt. Sie ist länglicher als die beiden linken Schienen.



Abbildung 76: Innere Führungsschienen – Draufsicht

In Abbildung 77 werden die beiden verschiedenen Schienen direkt verglichen. Auffällig ist dabei, dass sie um 90° zueinander gedreht sind. Während die Rollen bei den linken Schienen parallel zur X-Achse angebracht werden können, so müssen sie bei der rechten Schiene senkrecht zur X-Achse montiert werden.

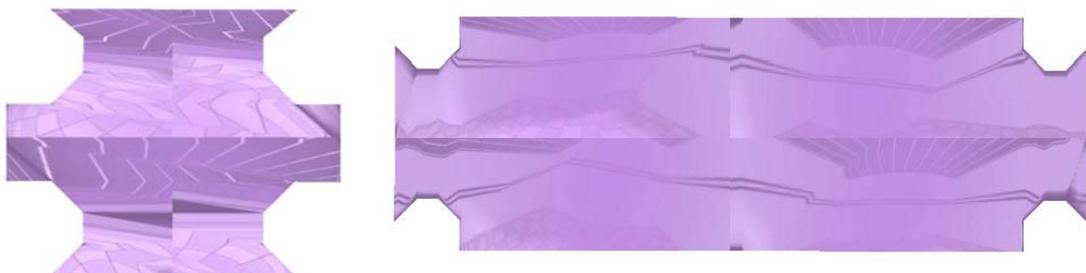


Abbildung 77: Innere Führungsschiene – Detail

Nun sollen die vergleichsweise komplexeren äußeren Führungsschienen erläutert werden. Ihre geometrische Form sowie ihre Lage kann man in der Draufsicht (Abbildung 78) erkennen.



Abbildung 78: Äußere Führungsschienen – Draufsicht

Ihre Komplexität ist hauptsächlich darin begründet, dass die beiden linken Führungsschienen den Abstand, der aufgrund des vergleichsweise großen Antriebs benötigt wird, überbrückt. (Abbildung 79).

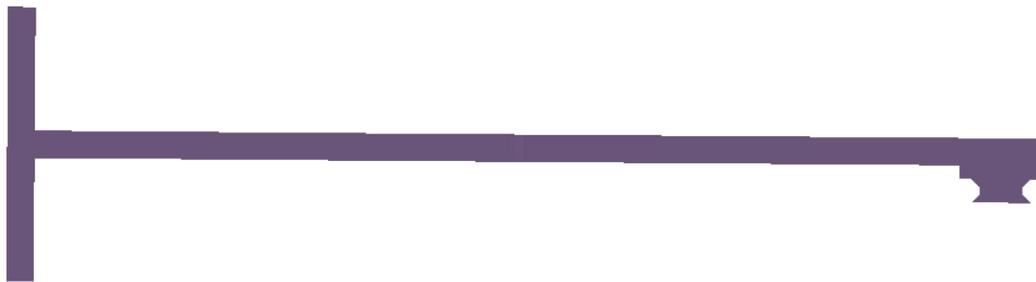


Abbildung 79: Linke äußere Führungsschiene – Detail

Die rechte Führungsschiene begrenzt die Bewegung der Rollen nur entgegen der Flugrichtung. In Flugrichtung kann der Schlitten mit den Rollen demnach plötzlich auftretende Schwingungen ausgleichen (Abbildung 80).



Abbildung 80: Rechte äußere Führungsschiene – Detail

Wenn man nun die inneren und äußeren Führungsschienen kombiniert, erkennt man, dass hierfür Schlitten mit Rollen notwendig sind. Nur mit diesen Schlitten ist es möglich, dass die

Schienen aneinander vorbei gleiten können, ohne dass die Reibung zu groß wird (Abbildung 81, Abbildung 82).

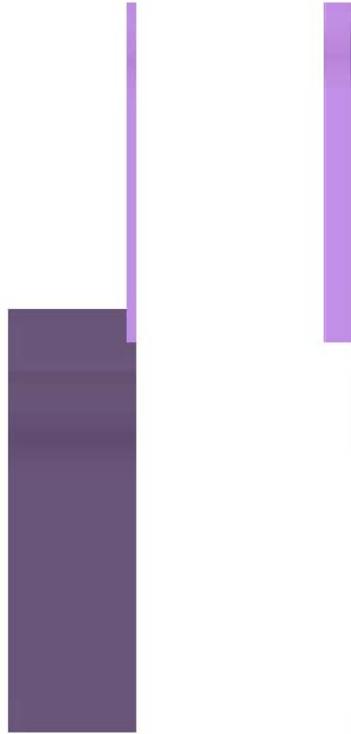


Abbildung 81: Führungsschienen – Seitenansicht



Abbildung 82: Führungsschienen – Draufsicht

In der folgenden Abbildung 83 sind diese Schlitten integriert.

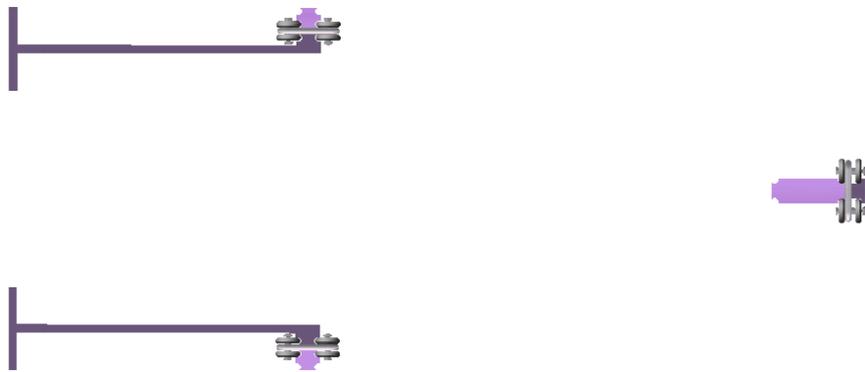


Abbildung 83: Führungsschienen – mit Schlitten

Die genaue Kombination aus Führungsschienen und Schlitten ist in der Abbildung 84 sowie der Abbildung 85 dargestellt.

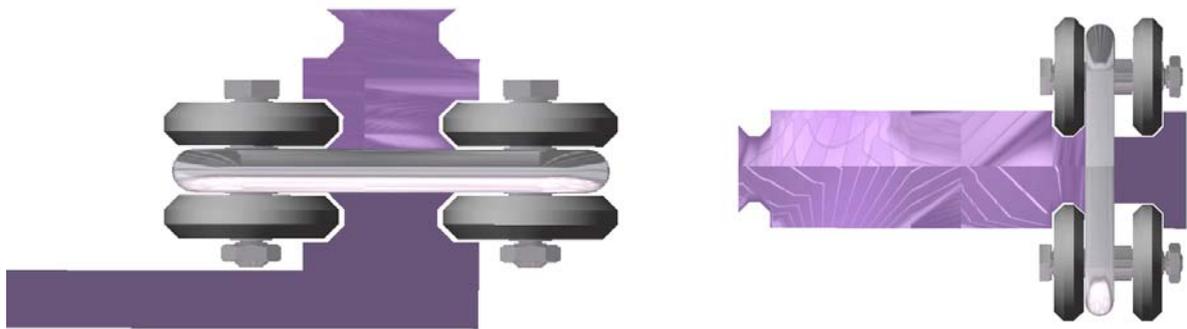


Abbildung 84: Führungsschienen – mit einem Schlitten

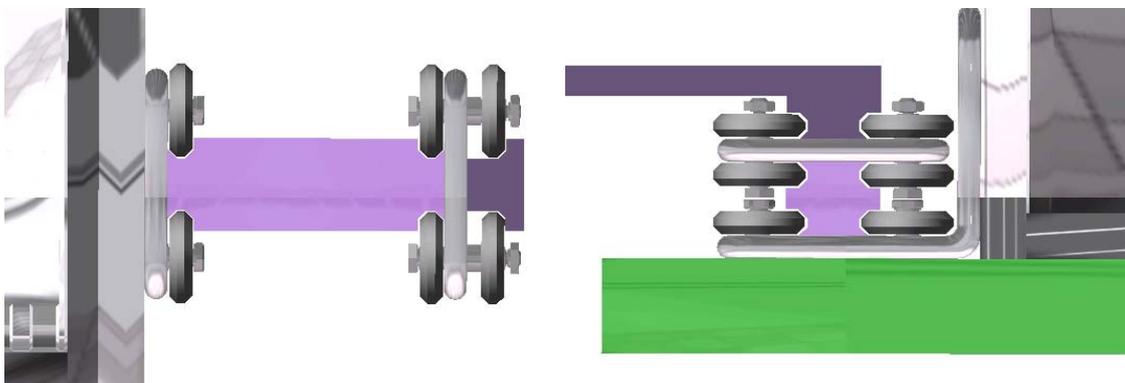


Abbildung 85: Führungsschienen – mit zwei Schlitten

Bei den linken Schienen sind die Schlitten parallel zur X-Achse angeordnet. Im Gegensatz dazu sind die beiden Schlitten der rechten Führungsschiene orthogonal angeordnet. Das Gesamtssystem aus Führungsschienen und Schlitten kann den beiden Abbildungen Abbildung 86 und Abbildung 87 entnommen werden.

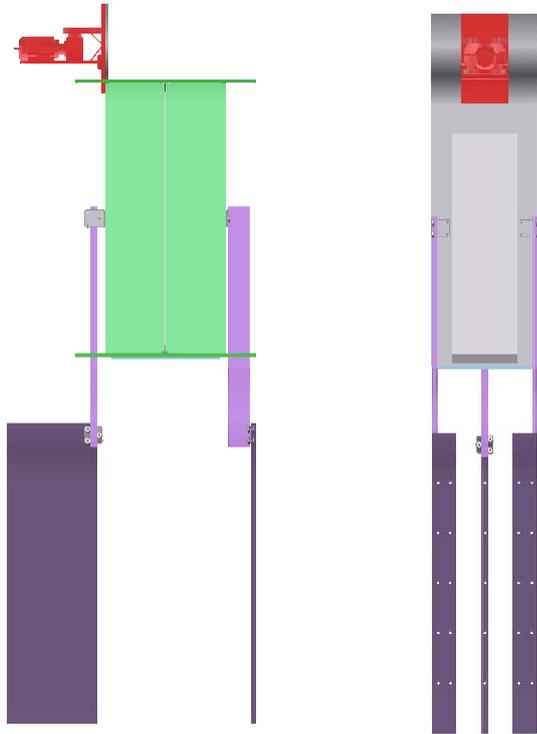


Abbildung 86: Führungsschienen Gesamtssystem – Seitenansicht & Vorderansicht

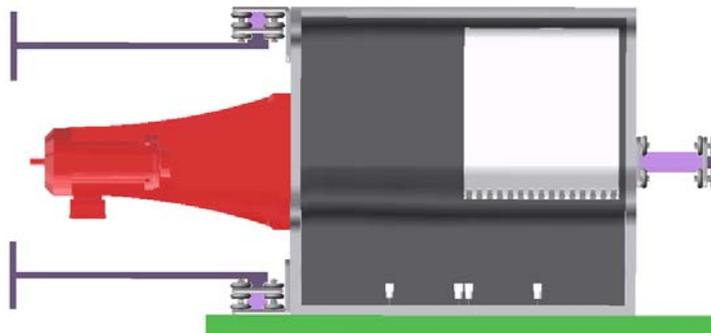


Abbildung 87: Führungsschienen Gesamtssystem – Draufsicht

4.6 Schacht

4.6.1 Schacht – Grundkonfiguration

Der Schacht stellt den wichtigsten Teil der Fahrstuhlkonfiguration dar. Er ist die Verbindung zwischen dem Gesamtsystem Fahrstuhl und dem Flugzeug. Über ihn werden alle durch den Fahrkorb entstehenden Kräfte und Momente auf die Flugzeugstruktur übertragen. In und gegen Flugrichtung werden am Schacht die entsprechenden Führungsschienen angebracht (Abbildung 88).

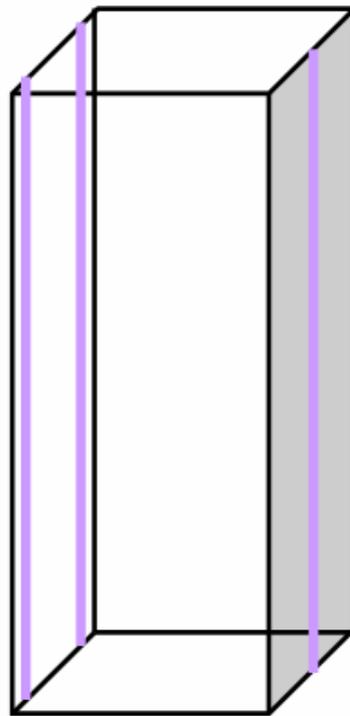


Abbildung 88: Schacht – mit Führungsschienen

Der CS-25 2000 werden nun die Lasten, für welche die Verbindungselemente ausgelegt werden entnommen. Zur Verdeutlichung zeigt die Abbildung 89 detailliert die entsprechenden Lasten.

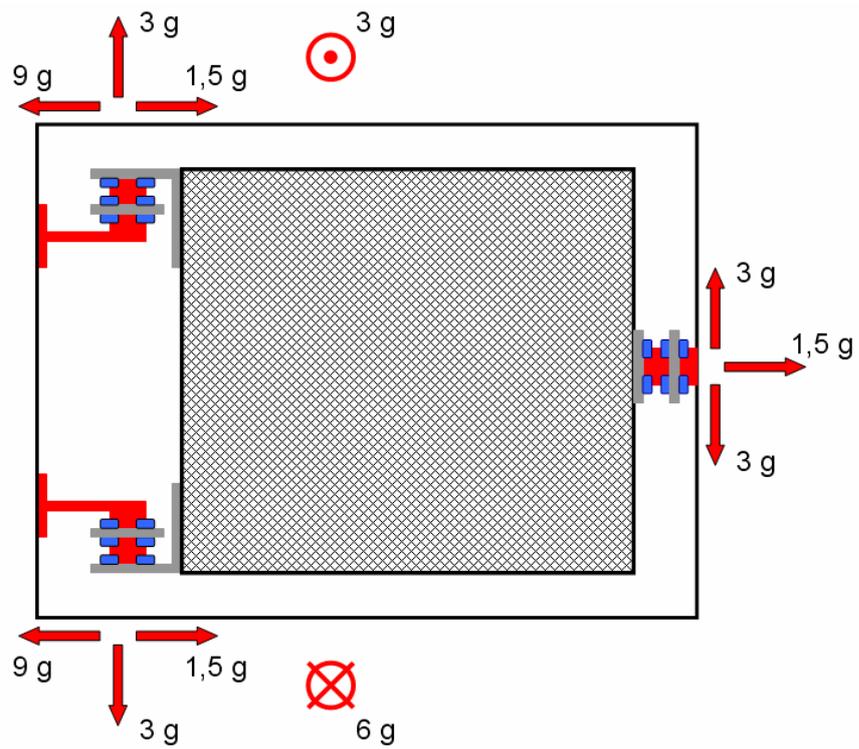


Abbildung 89: Schacht – Lasten (CS-25 2000)

Um die Führungsschienen am Schacht zu fixieren, werden sowohl in den Schienen als auch im Schacht entsprechende Bohrungen angebracht.

4.6.2 Schacht – Anforderungen

Die relevanten Anforderungen werden der **DIN EN 81-1 2000** Abschnitt 5 und der **TRA 5.1300 1994** Kapitel 1300 entnommen.

Schachtumwehrung

- *Aufzüge müssen durch*
 - a) *Wände, Fußboden und Decke oder*
 - b) *ausreichenden Freiraum gegenüber der Umgebung abgetrennt sein. (DIN EN 81-1 2000)*
- *Umwehrungen und Decken müssen aus nichtbrennbaren Stoffen bestehen, weitergehende Vorschriften des Bauaufsichtsrechts bleiben unberührt. Die Schachtwände dürfen nur für die Schachtzugänge, Wartungszugänge, Notzugänge und Fenster unterbrochen sein. Bestehen Schachtwände aus Drahtgeflecht oder Weltdrahtgitter, darf die Drahtdicke nicht weniger als 1,8 mm betragen. (TRA 5.1300 1994)*

Wände, Boden und Decke des Schachtes

- *Die Ausführung des Schachtes muss den nationalen baurechtlichen Bestimmungen entsprechen. Er muss mindestens den Lasten und Kräften standhalten, die durch das Triebwerk, durch die Führungsschienen beim Ansprechen der Fangvorrichtung oder durch außermittige Last, durch die Pufferkraft, durch die Wirkung der Unterseilspanneinrichtung, durch das Be- und Entladen des Fahrkorbes usw. ausgeübt werden. (DIN EN 81-1 1994)*

Ausführung der Schachtwände und der Schachttüren an den Zugangsseiten des Fahrkorbes

- *Die Schachtwand, bestehend aus den Schachttüren, den Wänden oder Teilen von Wänden, die an einer Zugangsseite des Fahrkorbes liegen, muss über die ganze Breite des Fahrkorbzuganges eine nicht durchbrochene Fläche bilden, ausgenommen betriebsnotwendiger Türspalte. Unterhalb jeder Schwelle von Schachtzugängen muss die Schachtwand folgende Anforderungen erfüllen:*
 - a) *Sie muss eine unmittelbar an die Schachttürschwelle anschließende senkrechte Fläche bilden, deren Höhe mindestens die Hälfte der Entriegelungszone zuzüglich 50 mm und deren Breite mindestens die Lichte Breite des Fahrkorbzuganges zuzüglich 25 mm an jeder Seite beträgt.*
 - b) *Die Fläche muss durchgehend sein und aus glatten und harten Teilen wie Blech bestehen und eine mechanische Festigkeit haben, so daß eine an beliebiger Stelle senkrecht zur Wand auf einer runden oder quadratischen Fläche von 5 cm² gleichmäßig verteilt angreifende Kraft von 300 N sie*
 1. *weder bleibend*
 2. *noch um mehr als 10 mm elastisch**verformt.*

Befreiung im Notfall

- *Besteht für im Schacht arbeitende Personen das Risiko, eingeschlossen zu werden, und sind keine Möglichkeiten vorgesehen, sich entweder durch den Fahrkorb oder durch den Schacht zu befreien, müssen dort, wo dieses Risiko besteht, Notrufeinrichtungen vorhanden sein. (DIN EN 81-1 2000)*

4.6.3 Schacht – Auslegung und Berechnung

Für die Auslegung des Schachtes sowie die Schraubenverbindung zwischen Schacht und Führungsschienen sind verschiedene Faktoren relevant. Zuerst ist es wichtig, die maximal auftretende Kraft zu ermitteln, dann muss der Schacht für diese Belastungen ausgelegt werden. Die maximale Belastung wird mit Hilfe von Abbildung 90 und Tabelle 30 zu

$$F = 9 \cdot g = 6,42 \text{ kg} \cdot 9 \cdot g = 57870 \text{ N}$$

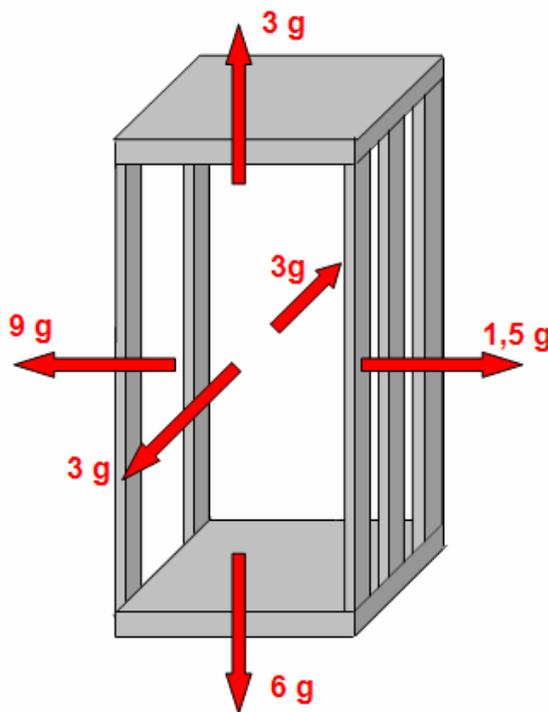


Abbildung 90: Schacht - Belastungen

Tabelle 30: Schacht – Belastungen

643 kg					
←	→	↙	↘	↑	↓
9 g	1,5 g	3 g	3 g	3 g	6 g
643 kg	643 kg	643 kg	643 kg	643 kg	643 kg
57870 N	9645 N	19290 N	19290 N	19290 N	38580 N

Mit Hilfe dieser Kraft wird nun mit den Gleichungen (1) bis (10) die notwendige Schachtwandstärke bestimmt. Die entsprechenden Ergebnisse kann man den Tabelle 31 und

Tabelle 32 entnehmen. Die Schachtwanddicke wird auf 20 mm festgelegt.

Tabelle 31: Schachtwand – 2100 mm x 2500 mm

f mm	a mm	b mm	A mm²	F N	p N/mm²	E N/mm²	h mm		
15	1250	1050	5250000	57870	0,011023	72400	17,45	h₁	Nachweis Durchbiegung
-	1250	1050	5250000	57870	0,011023	72400	5,19	h₂	Nachweis bleibende Verformung
-	1050	1050	4410000	57870	0,013122	72400	9,03	h₃	Nachweis bleibende Verformung
-	1050	1050	4410000	57870	0,013122	72400	12,91	h₄	Nachweis bleibende Verformung

Tabelle 32: Schachtwand – 1200 mm x 2500 mm

f mm	a mm	b mm	A mm²	F N	p N/mm²	E N/mm²	h mm		
15	1250	600	3000000	57870	0,01929	72400	9,97	h₁	Nachweis Durchbiegung
-	1250	600	3000000	57870	0,01929	72400	3,92	h₂	Nachweis bleibende Verformung
-	1250	600	3000000	57870	0,01929	72400	4,36	h₃	Nachweis bleibende Verformung
-	1250	600	3000000	57870	0,01929	72400	9,76	h₄	Nachweis bleibende Verformung

Für die Auslegung der Schraubenverbindung ist es notwendig, die Querkraft sowie die zentrische Axialkraft zu bestimmen (Abbildung 91).

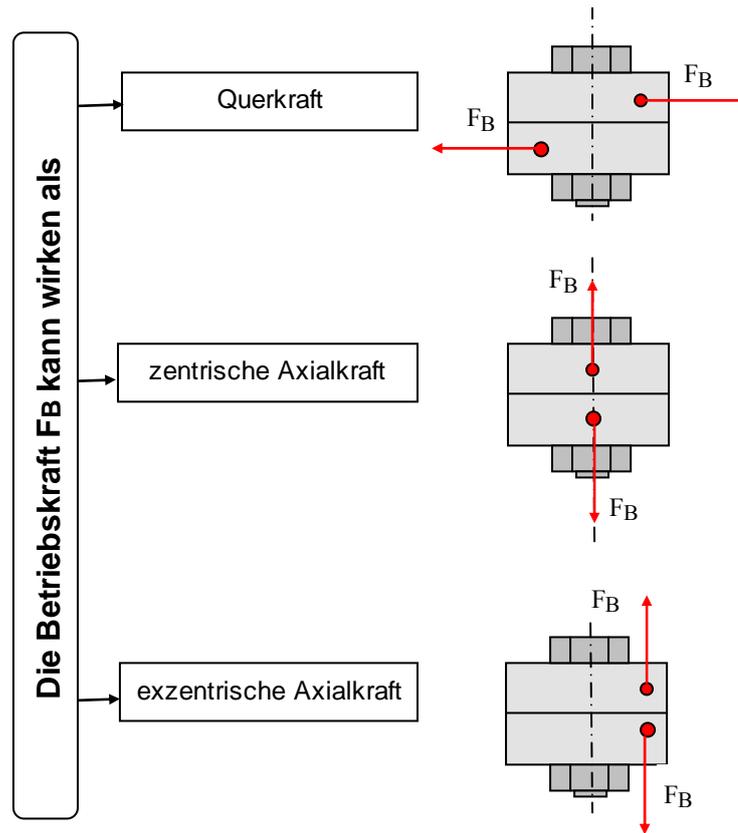


Abbildung 91: Schraubenverbindung – Betriebskraft F_B

Die Auslegung der Schraubenverbindung geschieht mit Hilfe der Arbeitsblätter Schr01fd-1 und Schr03fc (**AB Roloff/Matek 2005**), welche auf den Berechnungen von **Roloff/Matek 2005** beruhen. Die Abbildung 92 zeigt, dass die Vorwahl auf einen Schraubendurchmesser von M10 fällt. Bei der Berechnung ist zu beachten, dass die auftretenden Kräfte auf 10 Schrauben verteilt werden.

SCHRAUBENVORWAHL
statische oder dynamische **Querbeanspruchung**

Entwurfsberechnung

*** Eingabegrößen ***		Eingabe	Ausgabe
von der Schraube aufzunehmende maximale Querkraft [N]	F_{Bmax}	3850	
das Anziehen der Schraube erfolgt →		streckgrenzgesteuert ▼	
erforderliche Schraubengröße für die Festigkeitsklasse	8.8	→	M 10
	10.9	→	M 10
	12.9	→	M 10

SCHRAUBENVORWAHL
Zentrisch eingeleitete Betriebskraft

Entwurfsberechnung

*** Eingabegrößen ***		Eingabe	Ausgabe
von der Schraube aufzunehmende maximale Längskraft [N]	F_{Bmax}	5787	
die Längskraft wirkt →		dynamisch ▼	
das Anziehen der Schraube erfolgt →		mit Drehschrauber ▼ 5	
erforderliche Schraubengröße für die Festigkeitsklasse	8.8	→	M 10
	10.9	→	M 10
	12.9	→	M 8

Abbildung 92: Schraubenverbindungen – Schraubenvorwahl

Dieser Schraubendurchmesser bestätigt sich durch die in Abbildung 93 und Abbildung 94 gezeigten Berechnungen, allerdings sollte eine biegesteife Scheibe mit einem Durchmesser von 19 mm untergelegt werden.

SCHRAUBENBERECHNUNG axial beanspruchte Befestigungsschrauben Taillenschrauben M6...M20 mit $d_T = 0,9 \cdot d_3$ Schaftschrauben M6...M20 mit Schaft- oder Ganzgewinde		Arbeitsblatt: SCHR-3	
*** Belastungsgrößen ***		Eingabe	Ausgabe
max. Betriebskraft (Höchstwert, s. Grafik)	[N] F_{Bmax}	3850	
min. Betriebskraft (Mindestwert, s. Grafik)	[N] F_{Bmin}	-984,5	
Belastungsart statisch axial <1> dynamisch axial <2>		2	
einzuhaltende Rest-Klemmkraft bei Belastung	[N] F_{Kl}	0	
das Anziehen der Schraube erfolgt von Hand <1> mit Drehschrauber <2> mit Drehmomentschlüssel <3> streckgrenzgesteuert <4>		4	
Schraubenvorwahl			
Taillenschraube <1> Schaftschraube <2>		2	
Sechskantkopf <1> Zylinderkopf <2>		2	
Festigkeitsklasse 8.8 <1> 10.9 <2> 12.9 <3>		3	
überschlägig ermittelte Gewindegröße			< M6 ??
festgelegter Gewindedurchmesser	[mm] d =	10	
--- NACHPRÜFUNG DER VORGEWÄHLTEN SCHRAUBE ---			
Elastizitäts-Modul Bauteilwerkstoff	[N/mm ²] E_T	72400	0,14
Gesamtreibungszahl μ_{ges} 0,10<1> 0,12<2> 0,14<3>	μ_{ges}	3	
Klemmlänge	[mm] l_k	47	
Außendurchmesser der verspannten Hülse	[mm] D_A	500	
Krafteinleitungsfaktor (0,25 < n < 0,75)	n	0,5	
ist das Kraftverhältnis $\Phi_k = \delta_S / (\delta_S + \delta_T) = F_{BS} / F_B$ bekannt? j <1> n <2>		2	
wenn <1>, dann Eingabe (0,1 < Φ_k < 0,8)	Φ_k	0,11	ohne Einfluss
ist die Nachgiebigkeit der Schraube δ_S bekannt? j <1> n <2>		2	
wenn <1>, dann Eingabe (mm/N) * 10 ⁻⁶	δ_S	0,3	ohne Einfluss
erforderliche Montagevorspannkraft		F_{VM} [kN]	4,30
Schaftschraube ergeben sich nach Herstellerangaben Schaftschraube ergeben sich nach Herstellerangaben			
die höchste Spannkraft	[kN] F_{Sp}	45,1	
das zulässige Spannmoment	[Nm] M_{Sp}	88	
Grenzflächenpressung	[N/mm ²] p_G	410	
evt. reicht schon eine kleinere Schraubengröße; Berechnung wiederholen			
Kontrollabfragen		vorhanden	zulässig
$F_{VM} < F_{Sp}$	[kN] Bedingung erfüllt ?	ja	4,30 / 45,10
$\Phi \cdot F_B < 0,1 R_{P0,2} \cdot A_T$	[kN] Bedingung erfüllt ?	ja	0,31 / 4,08
$\sigma_a < \sigma_A$	[N/mm ²] Bedingung erfüllt ?	ja	4 / 52
$\sigma_{red} < \sigma_{zul}$	[N/mm ²] Bedingung erfüllt ?	ja	931 / 990
Anziehmoment			
$M_{A\text{erf}} < M_{Sp}$	[Nmm] Bedingung erfüllt ?	ja	$M_{A\text{erf}}$ / M_{Sp}
		8	88
bei Nichterfüllung der oben aufgef. Bedingungen ist u.a. eine andere Schraubengröße oder Festigkeitsklasse zu wählen!			
Flächenpressung			
$p_{vorh} < p_G$	[N/mm ²] Bedingung erfüllt ?	nein	p_{vorh} / p_{Grenz}
		507	410
biegesteife Scheibe unterlegen mit Außendurchmesser mindestens		D = 19 mm	

Abbildung 93: Schraubenberechnung – Teil 1

Schraubenberechnung		
axial beanspruchte Befestigungsschrauben		
--- Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse ---		
<i>Beanspruchungsart:</i> dynamisch axial		
<i>gewählte Schraubenart:</i> Schaftschraube		
<i>Kopfausführung:</i> Zylinderkopf mit Innensechskant		
<i>festgelegte Gewindegröße:</i> M10		
<i>vorgesehene Festigkeitsklasse:</i> 12.9		
<i>vorgeschriebenes Anziehverfahren:</i> drehwinkelgesteuertes Anziehen		
<i>Anziehdrehmoment (theor. Mindestwert):</i> 8,2 Nm		
<i>Anziehdrehmoment (zulässiger Höchstwert):</i> $M_{sp} = 88 \text{ Nm}$		
<i>einzustellendes Anziehdrehmoment (Empfehlung):</i> 88 Nm		
Nachgiebigk. Schraube (grober Richtwert, überschl. ermittelt)	δ_S	ca. $6,33 \cdot 10^{-3} \text{ mm/N}$
Nachgiebigkeit des Bauteils (Richtwert)	δ_T	ca. $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ mm/N}$
Krafteinleitungsfaktor (Schätzwert)	n	0,500 -
Kraftverhältnis (grober Richtwert, überschlägig ermittelt)	Φ_k	ca. 0,159 -
Kraftverhältnis unter Berücksichtigung der Krafteinleitung	Φ	ca. 0,079 -
Klemmlänge	l_k	47 mm
Betriebskraft (maximal von der Schraube aufzunehmen)	F_{Bmax}	3850 N
Betriebskraft (minimal von der Schraube aufzunehmen)	F_{Bmin}	-984,5 N
Klemmkraft (Restklemmkraft bei F_{Bmax})	F_{kl}	0 N
Zusatzkraft Schraube infolge der Betriebskraft	F_{BS}	306 N
Entlastungskraft Bauteile infolge der Betriebskraft	F_{BT}	3544 N
erforderliche Montagevorspannkraft (Mindestwert)	F_{VM}	4300 N
maximale Schraubenkraft bei Belastung mit F_{sp}	F_{Smax}	45406 N
Vorspannkraftverlust infolge des Setzvorganges	F_z	740 N
Streckgrenzkraft	$F_{0,2}$	63800 N
Spannkraft bei 90% Ausnutzung von $R_{p0,2}$ (Herst. Angabe)	F_{sp}	45100 N
Spannmoment bei 90% Ausnutz. von $R_{p0,2}$ (Herst. Angabe)	M_{sp}	88 Nm
Verdrehspannung	τ_t	344 N/mm ²
Montagezugspannung	σ_M	715 N/mm ²
Vergleichsspannung	σ_{red}	931 N/mm ²
Ausschlagsspannung	σ_a	ca. 4 N/mm ²
Auflagepressung	p	507 N/mm ²
Schraubenwerkstoff: Dehngrenze	$R_{p0,2}$	1100 N/mm ²
Ausschlagsfestigkeit	σ_A	52 N/mm ²
Elastizitäts-Modul	E_S	205000 N/mm ²
Bauteilwerkstoff: Grenzflächenpressung	p_G	410 N/mm ²
Elastizitäts-Modul	E_T	72400 N/mm ²
gewählter Gewindenenddurchmesser	d	10 mm
Steigung	P	1,5 mm
Flankendurchmesser	d_2	9,026 mm
Tailendurchmesser	d_T	7 mm
Spannungsquerschnitt	A_S	58 mm ²
Tailenquerschnitt	A_T	37,1 mm ²
Steigungswinkel	φ	3,03 °
Außendurchmesser Kopfauflage	d_w	16 mm
Durchgangsbohrung, mittel	d_h	11 mm
Gesamtreibungszahl	μ_{ges}	0,14 -
Anziehungsfaktor	k_A	1 -
Setzbetrag	f_z	0,006 mm

Abbildung 94: Schraubenberechnung – Teil 2

4.6.4 Schacht – konstruktive Umsetzung

Die konstruktive Umsetzung des Fahrstuhlschachtes gestaltet sich vergleichsweise einfach. Es handelt sich dabei um einen hohen Quader. Er wird mit einer Länge von 2100 mm und einer Breite von 1200 mm ausgeführt. An den Schachtwänden, an denen die Führungsschienen vorgesehen sind, werden entsprechende Bohrungen angebracht (Abbildung 95, Abbildung 96, Abbildung 97, Abbildung 98, Abbildung 99).

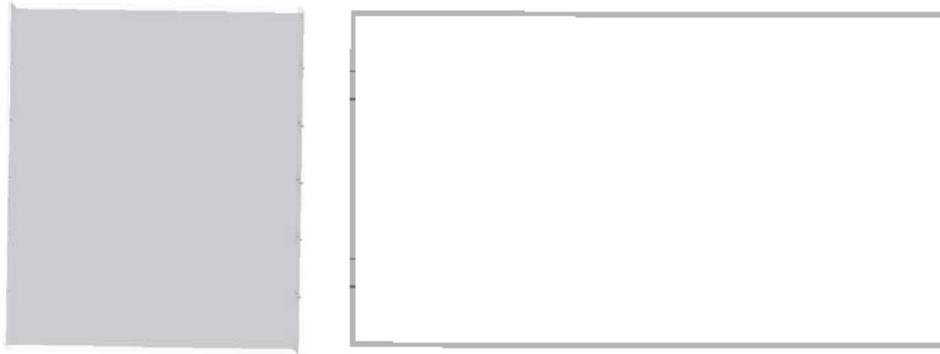


Abbildung 95: Schacht – Vorderansicht & Draufsicht

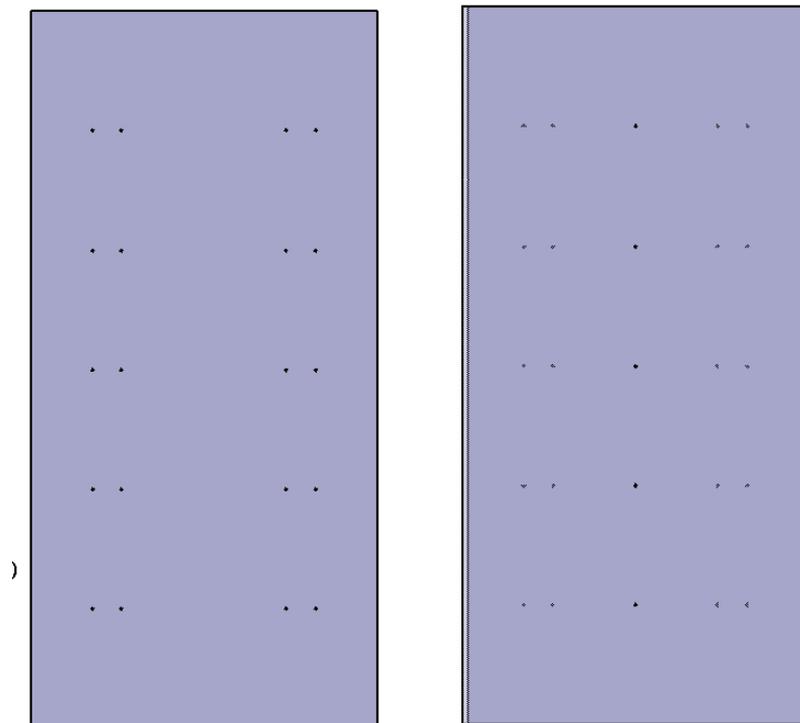


Abbildung 96: Schacht – Bohrungen

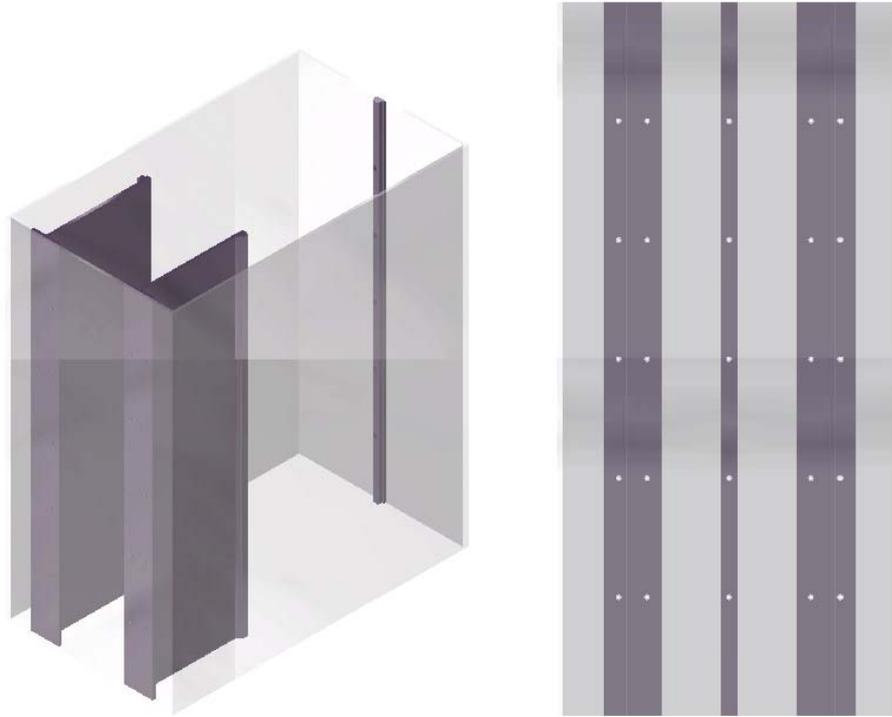


Abbildung 97: Schacht mit Führungsschienen – Isometrische & Seitenansicht

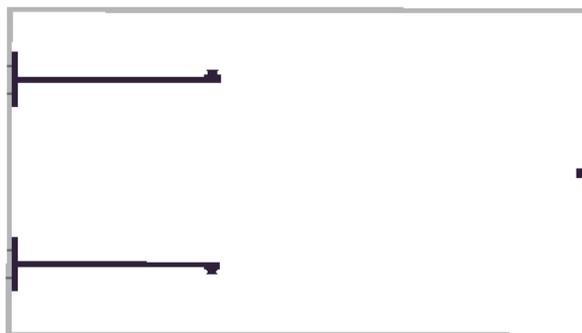


Abbildung 98: Schacht mit Führungsschienen – Draufsicht

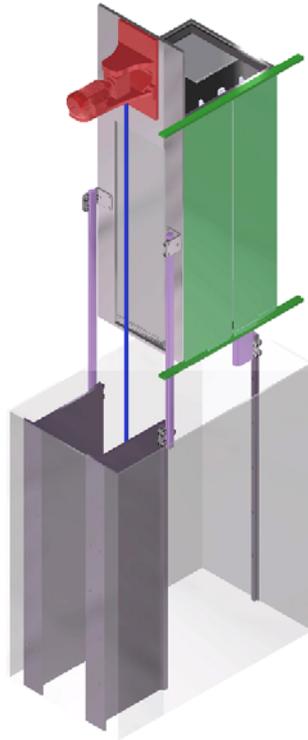


Abbildung 99: Gesamtentwurf Fahrstuhl

4.7 Darstellung des Gesamtentwurfs

Dieser Abschnitt beschließt das Kapitel konstruktive Ausarbeitung. Demnach soll nun die Konstruktion in ihrer Gesamtheit beschrieben und noch einmal zusammengefasst werden. Die einzelnen Fahrkorbkomponenten sollen in ihrer endgültigen Lage gezeigt und realisiert werden. Dabei sollen vor allem bildhafte Darstellungen und weniger beschreibende Texte im Vordergrund stehen. Wichtig für die konstruktive Umsetzung ist hierbei die Positionierung des Fahrstuhls. Seine genaue Lage kann der folgenden Abbildung 100 entnommen werden. Der Fahrkorb soll symmetrisch zur Center Line integriert werden.

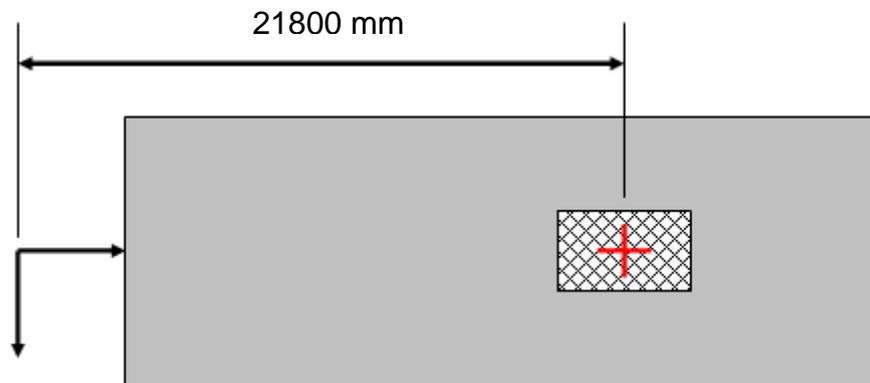


Abbildung 100: Positionierung

Die Abbildung 101 zeigt nun dem Rumpf des Airbus A340 mit Interieur und integriertem Fahrkorb.

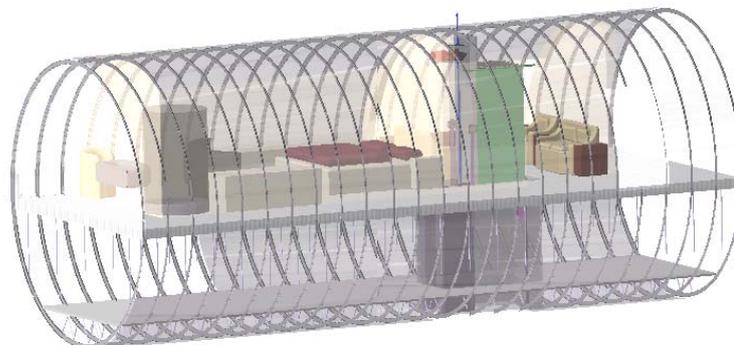


Abbildung 101: Gesamtentwurf

Um die Integration und Funktion des Fahrkorbes darzustellen, werden nun in den nächsten sechs Abbildungen (Abbildung 102, Abbildung 103, Abbildung 104, Abbildung 105, Abbildung 106, Abbildung 107) folgende Szenarien sowohl mit Interieur als auch ohne gezeigt:

- Fahrkorb in Kabine
- Fahrkorb auf dem Rollfeld
- Fahrkorb verstaut im Frachtraum

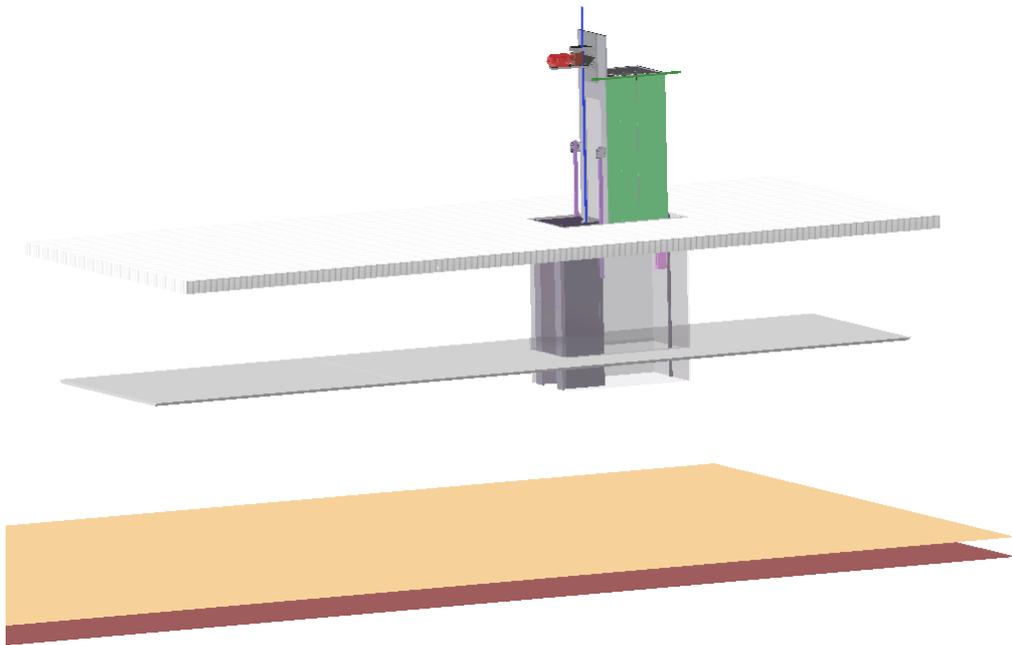


Abbildung 102: Gesamtentwurf ohne Interieur – Fahrkorb in Kabine

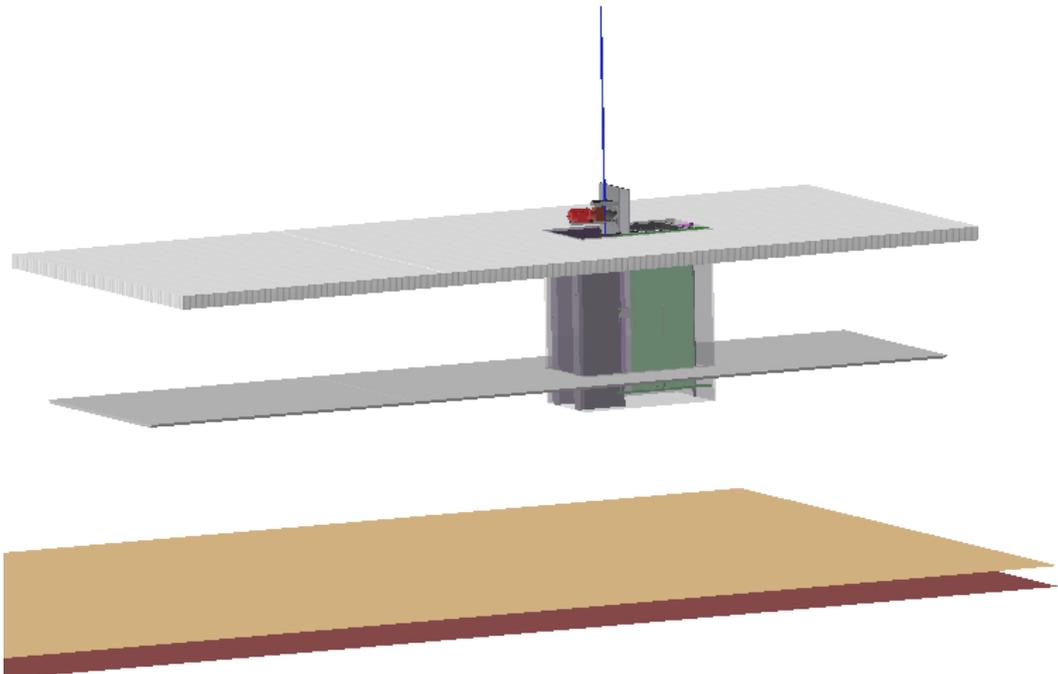


Abbildung 103: Gesamtentwurf ohne Interieur – Fahrkorb verstaut im Frachtraum

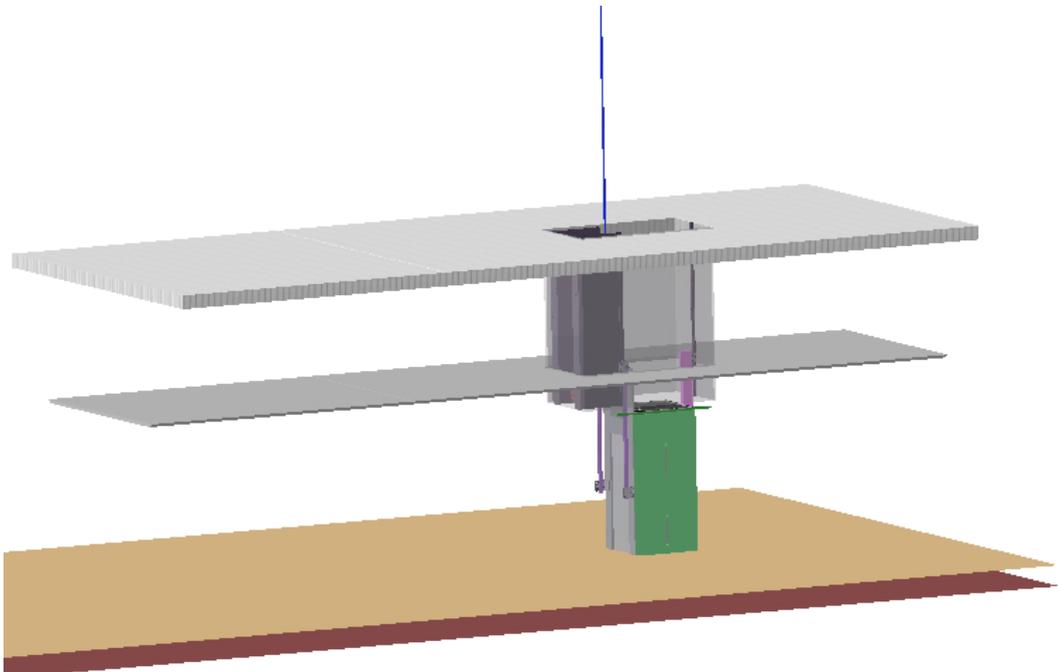


Abbildung 104: Gesamtentwurf ohne Interieur – Fahrkorb auf dem Rollfeld

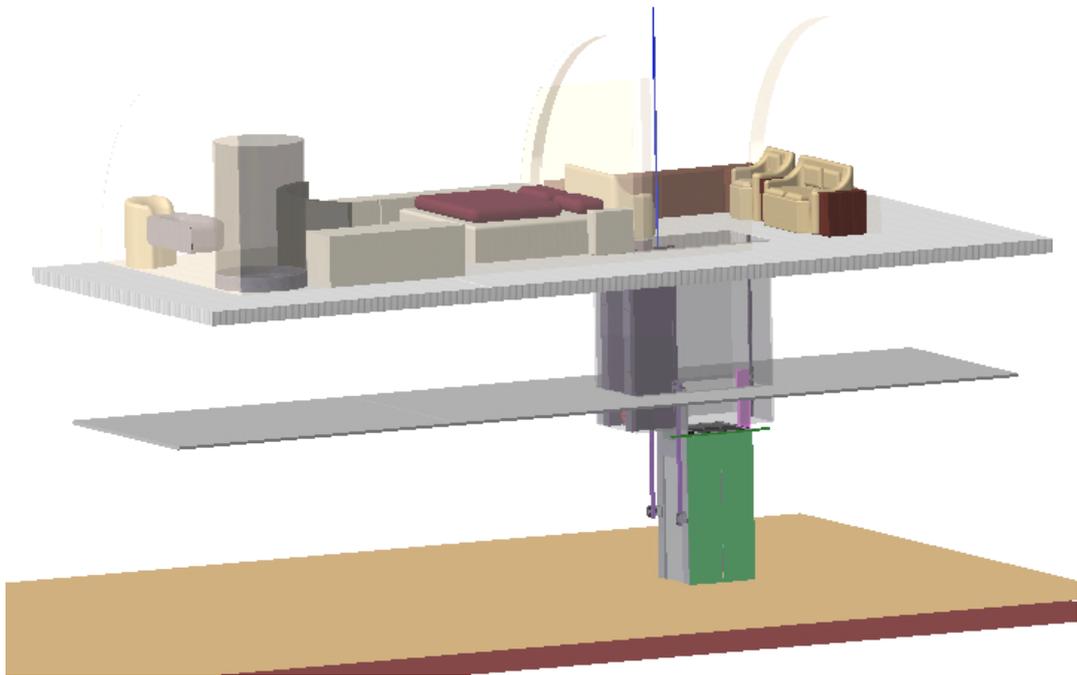


Abbildung 105: Gesamtentwurf mit Interieur – Fahrkorb auf dem Rollfeld

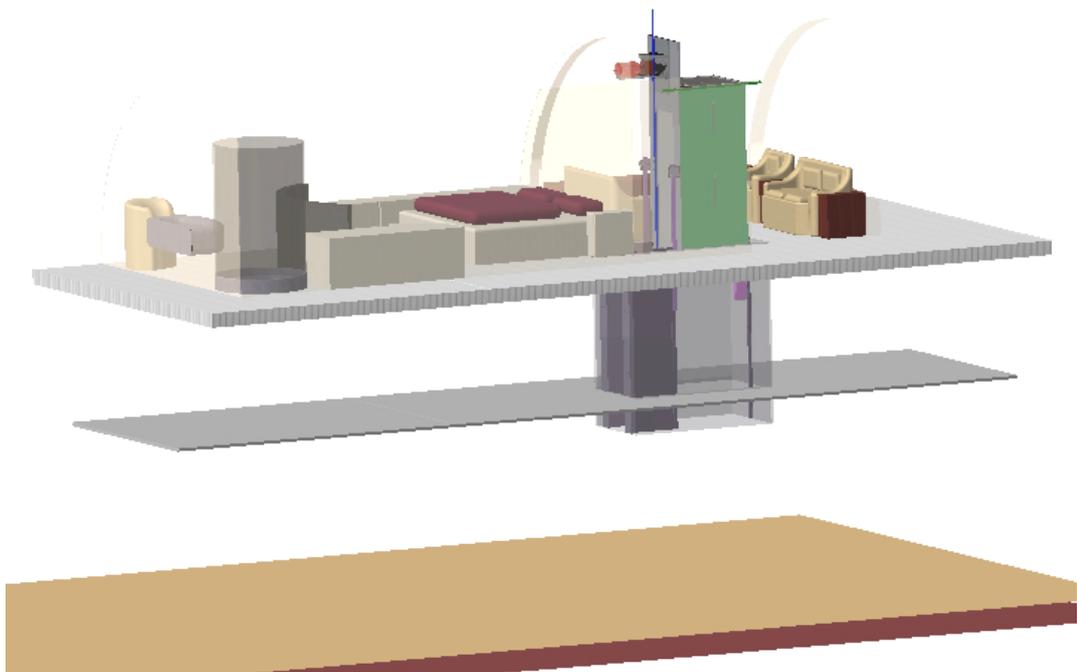


Abbildung 106: Gesamtentwurf mit Interieur – Fahrkorb in Kabine

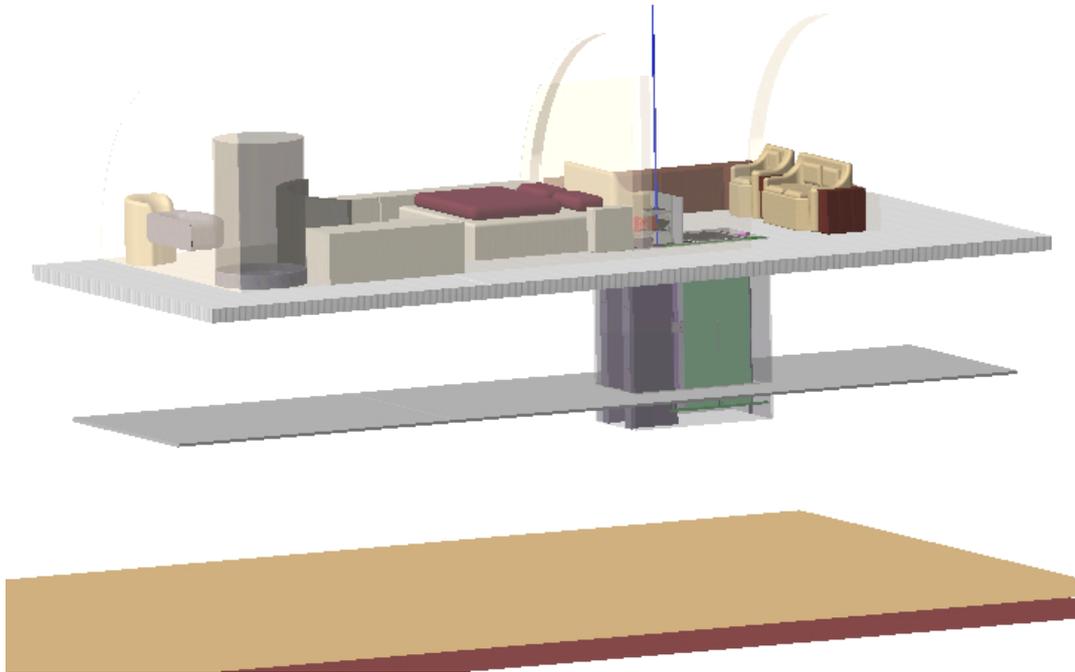


Abbildung 107: Gesamtentwurf mit Interieur – Fahrkorb verstaut im Frachtraum

Von oben betrachtet stellen sich der Fahrkorb und das Kabineninterieur folgendermaßen dar:

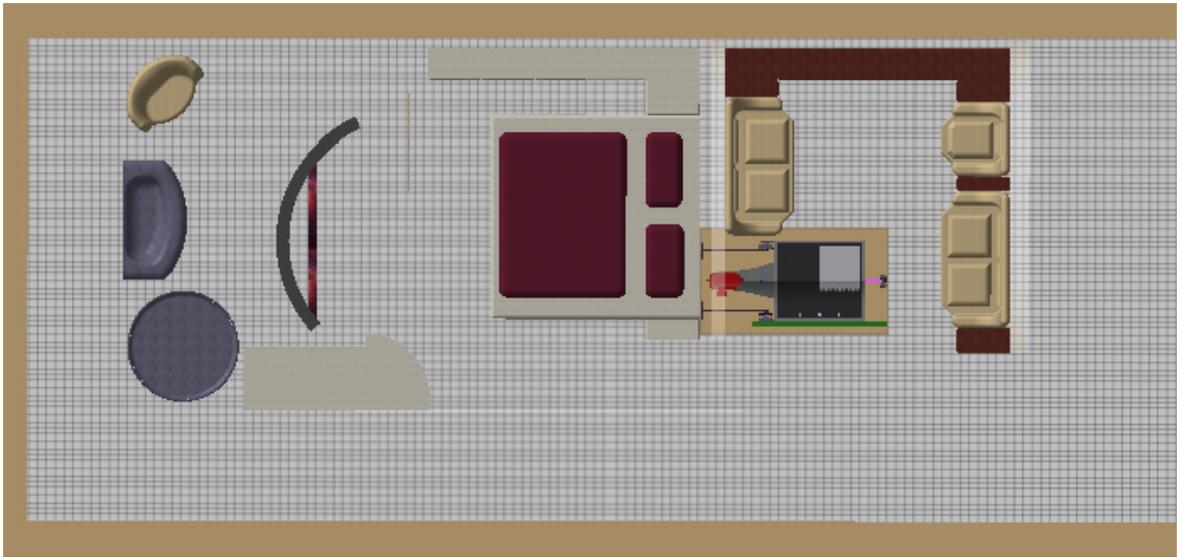


Abbildung 108: Gesamtentwurf – Draufsicht

5 Gefahrenanalyse

5.1 Allgemeines

Um Verletzungen beim Betreiben des Fahrstuhls zu vermeiden, ist es notwendig, begleitend zu den konstruktiven Arbeiten eine Gefahrenanalyse durchzuführen. Die hier vorliegende Aufstellung ist eine nach Abschluss der Konstruktion getätigte Zusammenfassung aller Erkenntnisse.

5.2 Bestimmungsmäßige Verwendung

Um eine sinnvolle Gefahrenanalyse durchführen zu können, muss zuerst die Verwendung des Fahrstuhles festgelegt werden. Die unten getätigte Analyse ist demnach nur unter Betrachtung der bestimmungsgemäßen Verwendung sinnvoll. Nur wenn diese gewährleistet ist, kann der Fahrstuhl betätigt werden, ohne eine Gefahr für Personen zu sein.

Das Boarding Device wird ausschließlich zum Transport von Passagieren vom Rollfeld in die Kabine des A340-200 verwendet. Sie ist auf eine Gesamtbelastung von 300 N ausgelegt, und darf deshalb maximal von 2 Personen gleichzeitig betreten werden. Des Weiteren ist die Inbetriebnahme des Fahrstuhls nur bei abgeschalteten Turbinen zulässig, um die Sicherheit des Flugzeugs nicht zu beeinträchtigen.

5.3 Risikobeurteilung nach EN 1050

Bei der Beurteilung des Risikos, das durch das Verwenden und Warten des Fahrstuhls entsteht, geht man im Folgenden davon aus, dass dieser außerhalb der Fahrstuhlkabine nur von geschultem Personal betrieben wird und, dass die Wartung durch eingewiesenes und sicherheitstechnisch ausgebildetes Personal durchgeführt wird.

Um das entstehende Risiko besser beurteilen zu können, wird das Leben des Boarding Device in die folgenden sieben Lebensphasen eingeteilt:

- I = Transport
- II = Inbetriebnahme
- III = Betrieb
- IV = Wartung
- V = Instandsetzung
- VI = Lagerung / Außerbetriebnahme
- VII = Entsorgung

Das Risiko muss nun in den entsprechenden Lebensphasen abgeschätzt und möglichst gering gehalten werden. Zur Beurteilung der einzelnen Gefährdungen verwendet man den Risikographen entsprechend der **DIN EN 1050**. Bei zweideutig interpretierbaren Ergebnissen gelten die folgenden Leitsätze:

- Es ist immer von dem größtmöglichen Schaden auszugehen.
- Im Zweifelsfall immer für die größere Gefahr entscheiden.
- Es sind auch ausgefallene/exotische Schadensmöglichkeiten zu betrachten.

Das Schadensausmaß wird mit den folgenden Maßstäben bewertet:

S ₀	keine Verletzungen	=	keine Gefahr
S ₁	leichte Verletzungen	=	reversible
S ₂	Schwere Verletzungen	=	irreversible
S ₃	Tod		

Zur weiteren Verdeutlichung werden die verschiedenen Schadensausmaße hier noch einmal kurz dargestellt:

Schadensausmaß S₀

Wenn keine Gefahr vorhanden ist, ist auch das Gesamtrisiko gleich Null. In der Gefahrenanalyse wird diese mit einem "-" (Bindestrich) dargestellt.

Schadensausmaß S₁

Gilt bei kleineren Verletzungen, die keine oder nur eine kurze Arbeitsunterbrechung zur Folge haben (z.B. kleine Schnittwunde, Prellung, Aufschürfung). Verletzungen, die einen Arztbesuch erfordern und zu keinen bleibenden Schäden führen; die Zeit der Arbeitsunterbrechung sollte zwei Wochen nicht übersteigen (z.B. größere Schnittwunden, Verbrennungen).

Schadensausmaß S₂

Verletzungen, die zu bleibenden Schäden führen (z.B. Verlust von Gliedmaßen, Quetschungen). Verletzungen, die eine Arbeitsunterbrechung von mehr als zwei Wochen verursachen (z.B. größere Schnittwunden, die genäht werden müssen, gebrochener Fuß, Allergie).

Die Aufenthaltsdauer, die die Zeiträume beschreibt in denen sich Personen im Gefahrenbereich befinden, wird nach der folgenden Definition unterteilt:

- A₁ selten bis öfter
- A₂ häufig bis dauernd

Die Aufenthaltsdauer im Gefahrenbereich sollte auf Grundlage eines durchschnittlichen Wertes bestimmt werden. Zur Ermittlung wird die Zeit, in der die Einrichtung verwendet wird, im Verhältnis zur Gesamtheit betrachtet.

Aufenthaltsdauer A₁

Der Zugang zum Gefahrenbereich der Maschine ist nur von Zeit zu Zeit erforderlich, zum Beispiel um einen Fehler zu beheben oder die Maschine einzurichten. Sie gilt auch, wenn keine regelmäßigen Arbeiten im Gefahrenbereich vorgenommen werden bzw. der Zeitabstand zwischen den Tätigkeiten länger als eine Arbeitsschicht ist.

Aufenthaltsdauer A₂

A₂ gilt, wenn sich der Bediener den überwiegenden Teil der Zeit im Gefahrenbereich der Maschine aufhält, zum Beispiel um in regelmäßigen Abständen in den zyklischen Ablauf der Maschine einzugreifen, um zu messen, um Teile einzulegen/herauszunehmen. Sie trifft auch zu, wenn bei einer Einrichtung, die für Automatikbetrieb ausgelegt ist, sehr viele Störungen auftreten, die manuell behoben werden müssen. Der Bediener befindet sich dadurch länger als vorgesehen im Gefahrenbereich.

Die Möglichkeit zum Erkennen und Vermeiden der Gefahr wird mit Hilfe der folgenden Definition klassifiziert:

- E₁ möglich unter bestimmten Bedingungen
- E₂ kaum möglich

Entscheidungshilfen können sein:

- Unbeaufsichtigter oder beaufsichtigter Betrieb
- Betrieb durch Fachpersonal oder Laien
- Schnelligkeit des Auftretens der Gefährdung
- Möglichkeit zur Vermeidung der Gefahr, z.B. durch Flucht oder Eingreifen Dritter
- Praktische Erfahrung mit der Sicherheit in Bezug auf das Verfahren

Möglichkeit zum Erkennen und Vermeiden der Gefahr E₁

Sollte gewählt werden, wenn eine realistische Möglichkeit besteht, die Gefahr zu vermeiden

Möglichkeit zum Erkennen und Vermeiden der Gefahr E₂

Sollte gewählt werden, wenn fast keine Möglichkeit besteht, die Gefahr zu vermeiden

Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses wird in diese Klassen eingeteilt:

W ₁	klein	(unwahrscheinlich)
W ₂	mittel	(wird wahrscheinlich einige Male eintreten)
W ₃	groß	(wird häufig eintreten)

Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Ereignisses W₁

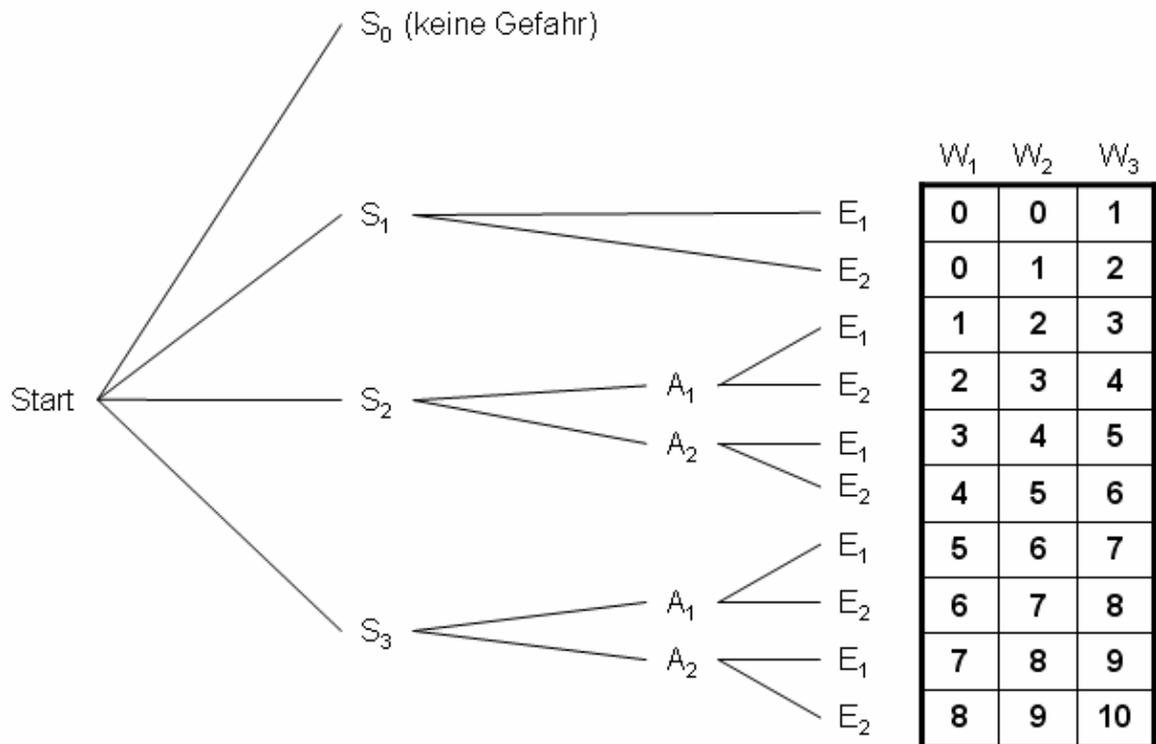
Es ist unwahrscheinlich, aber nicht ausgeschlossen, dass das Ereignis während der Lebensphase eintritt, z.B. bei einem PKW das Auswechseln von Motor oder Achse.

Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Ereignisses W₂

Während der Lebensphasen der Maschine tritt das Ereignis einige Male ein, z.B. bei einem PKW der Austausch einer defekten Glühbirne/Sicherung oder der Radwechsel.

Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Ereignisses W₃

Während der Lebensphasen der Maschine tritt das Ereignis öfters oder in regelmäßigen Abständen auf, z.B. bei einem PKW Tanken, Ölwechsel, Luft überprüfen/nachfüllen.



Das Gesamtrisiko (GR) ist in die Klassen 0-10 aufgeteilt.

0 = niedrigste Gefahr

10 = höchste Gefahr

Abbildung 109: Gesamtrisiko

5.4 Liste der Lösungen

Tabelle 33: Gefahrenanalyse – Liste der Lösungen

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko	Prinzip	Lösung	Erklärung	Risikopfad	Risiko	Schutzmaßnahmen / Restrisiko JA / NEIN
						S ₂ A ₂ E ₁ W ₂	4				VOR	Nach	
1	Mechanische Gefährdungen												
1 . 1	Gefährdung durch Quetschen	J	III	Türen	Gefahr des Quetschen beim Öffnen und Schließen der Fahrkorbtüren	S ₂ A ₂ E ₁ W ₂	4	K	Abstände minimieren		S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	1	JA
1 . 2	Gefährdung durch Scheren	N	III	Türen	Gefahr des Scheren beim Öffnen und Schließen der Fahrkorbtüren	S ₂ A ₂ E ₁ W ₂	4	K	Abstände minimieren		S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	1	JA
1 . 3	Gefährdung durch Schneiden / Abschneiden	N	IV	Türen	Gefahr des Abschneidens beim Öffnen und Schließen der Fahrkorbtüren	S ₂ A ₂ E ₁ W ₂	4	K	Abstände minimieren		S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	1	JA
1 . 4	Gefährdung durch Erfassen / Aufwickeln	N	IV	Spindel	Gefahr des Erfassens durch drehende Spindel	S ₂ A ₁ E ₂ W ₂	3	S	Geschultes und eingewiesenes Personal einsetzen		S ₂ A ₁ E ₁ W ₁	1	JA
1 . 5	Gefährdung durch Einziehen / Fangen	N	III	Türen	Gefahr des Einziehens beim Öffnen und Schließen der Fahrkorbtüren	S ₁ A ₂ E ₁ W ₃	5	K	Abstände minimieren		S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	1	JA
1 . 6	Gefährdung durch Stoß	J	III	Bereich unter / über Bording Device	Stoßgefahr, wenn Personen während Betrieb im Gefahrenbereich	S ₃ A ₂ E ₁ W ₃	9	S	Geschultes und eingewiesenes Personal einsetzen		S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	7	JA
1 . 7	Gefährdung durch Durchstich / Einstich	N				1 2 1							
1 . 8	Gefährdung durch Reibung / Abrieb	N				1 1							
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzzausrüstung W= Warnhinweis													

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko		Lösung	Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko
							VOR	Prinzip				
1 . 9	Gefährdung durch Eindringen / Herausspritzen von Flüssigkeiten unter hohen Druck	J	IV	Schacht	Gefahr besteht bei hydraulischem Antrieb	S ₂ A ₁ E ₁ W ₁	2	K	statt hydraulischen elektrischen Antrieb verwenden	S ₁ A ₀ E ₂ W ₁	0	NEIN
2	3											
2 . 1	direkte Berührung von Personen mit unter Spannung stehenden Teilen	J	IV	Motor	Motor ist mit Drehstom betrieben	S ₃ A ₁ E ₁ W ₂	6	S	Geschultes und eingewiesenes Personal einsetzen	S ₃ A ₁ E ₁ W ₁	5	JA
2 . 2	Berührung von Personen mit Teilen, die durch Fehlzustände spannungsführend geworden sind	J	IV	Motor	Motor ist mit Drehstom betrieben	S ₂ A ₁ E ₂ W ₂	6	S	Geschultes und eingewiesenes Personal einsetzen	S ₃ A ₁ E ₁ W ₁	5	JA
2 . 3	Annäherung an unter Hochspannung stehende Teile	N										
2 . 4	elektrostatische Vorgänge	N										
2 . 5	Thermische Strahlung oder Vorgänge wie Herausschleudern geschmolzener Teichen oder chemische Vorgänge bei Kurzschlüssen, Überlastung usw.	N										
3	Thermische Gefährdung mit der Folge von:											
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung												
Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W = Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risiko	Risikopfad	Lösung	Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko JA / NEIN
						VOR	Prinzip		Erklärung	Nach	
3 . 1	Verbrennungen und Frostbeulen und anderen Verletzungen durch den Kontakt von Personen mit Gegenständen oder Werkstoffen sehr hoher/niedriger Temperatur, durch Flammen oder Explosion und auch durch Strahlung von Wärmequellen	N									
3 . 2	Schädigungen der Gesundheit durch heiße oder kalte Arbeitsumgebung	N									
4 Gefährdungen durch Lärm mit der Folge von:											
4 . 1	Gehörverlust (Taubheit), anderen physiologischen Beeinträchtigungen (z.B. Gleichgewichtsverlust, Nachlassen der Aufmerksamkeit)	J	IV	Schacht	Lärm, welcher durch das Spindelhubgetriebe entsteht	2	S / W	Tragen von Öhrenschutz erforderlich	S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	0	NEIN
4 . 2	Störung der Sprachkommunikation, Störung akustischer Signale usw.	J	IV	Schacht	Lärm, welcher durch das Spindelhubgetriebe entsteht	8	K	Lichtsignale zur Unterstützung anbringen	S ₃ A ₁ E ₁ W ₁	5	JA
5 Gefährdung durch Vibrationen											
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W= Warnhinweis											

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risiko	Risikopfad	Lösung		Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko JA / NEIN
						VOR	Prinzip	Erklärung	Nach			
5 . 1	Verwendung handgeführter Werkzeuge mit dem Ergebnis von Nerven- und Gefäßstörungen	N										
5 . 2	Ganzkörpervibration, speziell in Verbindung mit Zwangshaltung	N										
6 Gefährdung durch Strahlung												
6 . 1	Strahlung mit Niederfrequenz, Funkfrequenz, Mikrowellen	N										
6 . 2	Infrarotes, sichtbares und ultraviolettes Licht	N										
6 . 3	Röntgen- und Gammastrahlen	N										
6 . 4	Alpha-, Beta-, Neutronen-, Elektronen- oder Ionenstrahlen	N										
6 . 5	Laserstrahlen	N										
7 Gefährdungen durch Werkstoffe und andere Stoffe (und durch ihre Bestandteile), die von Maschinen verarbeitet oder verwendet werden												
7 . 1	Gefährdung durch Kontakt mit oder Einatmung von gefährlichen Flüssigkeiten, Gasen, Nebeln, Dämpfen und Stäuben	J	III-IV	Antrieb	Gefahr besteht bei hydraulischem Antrieb	2	K	statt hydraulischen elektrischen Antrieb verwenden	S ₁ A ₁ E ₁ W ₁	0	NEIN	

Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung
Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W = Warnhinweis

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko		Lösung	Risikopfad	Risiko	Schutzmaßnahmen / Restrisiko JA / NEIN
							VOR	Prinzip				
7 . 2	Umgang mit Hydraulikmedien	J	IV	Antrieb	Gefahr besteht bei hydraulischem Antrieb	S ₂ A ₁ E ₁ W ₁	2	K	statt hydraulischen elektrischen Antrieb verwenden	S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	0	NEIN
7 . 3	Gefährdung durch Feuer oder Explosionen	J	III-V/II	Antrieb	Gefahr besteht bei der Verwendung leicht brennbarer Materialien	S ₃ A ₂ E ₁ W ₂	9	K	nur schwer entflammbare Materialien verwenden	S ₃ A ₂ E ₂ W ₁	8	JA
7 . 4	Biologische oder mikrobiologische Gefährdungen (durch Viren oder Bakterien)	N										
8	Gefährdung durch die Vernachlässigung ergonomischer Grundsätze bei der Gestaltung der Maschine											
8 . 1	durch ungesunde Körperhaltung oder besondere Anstrengungen	J	III	Fahrkorb	Fahrkorb soll so klein wie möglich konstruiert werden	S ₁ A ₀ E ₁ W ₃	1	K	Entsprechende Anforderungen aus DIN EN 81-1 2000 und TRA 5.1300 1994 beachten	S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	0	NEIN
8 . 2	durch ungenügende Berücksichtigung der Anatomie von Hand/Arm oder Fuß/Bein	N										
8 . 3	nachlässiger Gebrauch persönlicher Schutzausrüstungen	N										
8 . 4	unangepasste örtliche Beleuchtung	J	IV-V	Schacht	Schacht ist nicht bzw. nicht ausreichend beleuchtet	S ₂ A ₁ E ₁ W ₂	2	W	Entsprechende Beleuchtung muss mitgeführt werden	S ₂ A ₁ E ₁ W ₁	1	JA
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W = Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risiko	Risikopfad	Lösung	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko
						VOR	S ₃ A ₂ E ₁ W ₂		Prinzip	
8 . 5	mentale Überlastung oder Unterforderung, Stress	N								
8 . 6	menschliches Verhalten, - Fehlverhalten	J	III-IV	Boarding Device	Bereich unter und über der Boarding Device muss während des Betriebs freigehalten werden	8 K	S ₃ A ₂ E ₁ W ₂	Lichtschränke bzw. Drucksensoren installieren	7	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁
8 . 7	ungeeignete Konstruktion, Platzierung oder Kennlichmachung von Stellteilen	N								
8 . 8	ungeeignete Konstruktion oder Platzierung von Sichtanzeigen	J	III-IV	Bereich unter Bording device	Bereich unter und über der Boarding Device muss während des Betriebs freigehalten werden	8 K	S ₃ A ₂ E ₂ W ₂	Lichtschränke bzw. Drucksensoren installieren	7	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁
9 Kombination von Gefährdungen										
9 . 1		N								
10 Unerwarteter Anlauf, unerwartetes Durchdrehen/Überdrehen (oder jede vergleichbare Fehlfunktion)										
10 . 1	Ausfall/Störung des Steuerungssystems	N								
10 . 2	Wiederherstellung der Energiezuführung nach einer Unterbrechung	N								
10 . 3	äußere Einflüsse auf elektrische Betriebsmittel	N								
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W= Warnhinweis										

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risiko		Lösung		Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko	
						Risikopfad	VOR	Prinzip	Erklärung			Risikopfad
10 . 4	andere äußere Einflüsse (Schwerkraft, Wind usw.)	N										
10 . 5	Softwarefehler	N										
10 . 6	Bedienungsfehler (zurückzuführen auf unzureichende Anpassung der Maschine an menschliche Eigenschaften und Fähigkeiten, siehe 8.6)	N										
11	Fehlende Möglichkeit, die Maschine unter optimalen Bedingungen still zu setzen											
11 . 1		N										
12	Änderung der Umdrehungsgeschwindigkeit von Werkzeugen											
12 . 1		N										
13	Ausfall der Energieversorgung, Antriebsausfall oder Antrieb wird ausgeschaltet											
13 . 1	Ausfall des Antriebs	J	III	Fahrkorb	Fahrkorb kann nur noch mit Notbetätigung bewegt werden	S ₁ A ₀ E ₂ W ₂	0	K	Notbetätigung integrieren	S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	0	NEIN
14	Ausfall des Steuer- bzw. Regelkreis											
14 . 1		N										
15	Gefährdung durch fehlerhafte Montage											
15 . 1	fehlerhafte Montage	J	I-V	Boarding Device	Gefährdung der Passagier sowie des gesamten Flugzeugs	S ₃ A ₂ E ₂ W ₁	8	W	Betriebsanleitung beilegen	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	7	JA
16	Bruch beim Betrieb. Abreißen der elektrischen-, mechanischen- und hydraulischen Verbindungen											
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W = Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko	Lösung		Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko JA / NEIN
						S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	VOR	Prinzip	Erklärung	S ₂ A ₂ E ₂ W ₁	Nach	
16 . 1	Bruch beim betrieb	J	II-V	Antrieb / Führungsschienen	Fahrkorb kann nicht gehalten werden	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	8	K	Fankvorrichtung integrieren	S ₂ A ₂ E ₂ W ₁	4	JA
17	Herabfallende oder herausgeworfene Gegenstände oder Flüssigkeiten											
17 . 1	fallende Gegenstände	J	III-V	Bereich unter Boarding Device	Es können Gegenstände aus dem Frachtraum fallen	S ₂ A ₂ E ₁ W ₂	5	K	Frachtraumverkleidung mit hilfe des Schachtes anbringen	S ₁ A ₀ E ₂ W ₁	0	NEIN
18	Verlust der Standfestigkeit / Umkippen der Maschine											
18 . 1		N										
19	Ausgleiten, Stolpern oder Fall von Personen (im Zusammenhang mit Maschinen)											
19 . 1	Stolpern	J	III	Fahrkorb	Beim Verlassen und Betreten der Fahrkorbes ist eine kleine Stufe zu Überwinden	S ₁ A ₀ E ₂ W ₃	1	W	Warnhinweis anbringen	S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	0	NEIN
20	Zusätzliche Gefährdungen, Gefahrsituationen und Gefährdungsereignisse aufgrund von Bewegungen, im Zusammenhang mit der Fortbewegung der Maschine											
20 . 1	Fortbewegung beim Starten der Maschine	J	III	Fahrkorb	Passagier, bzw. Kleidung kann in Fahrkorbüren eingeklemmt werden	S ₁ A ₀ E ₁ W ₃	1	K	Lichtschranke und Drucksensor integrieren	S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	0	NEIN
20 . 2	Fortbewegung ohne dass sich der Fahrer auf dem Fahrstand befindet	N										
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung												
Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W = Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko	Lösung		Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko JA / NEIN
						S ₃ A ₂ E ₂ W ₁	8	VOR	Prinzip	Erklärung	S ₂ A ₂ E ₂ W ₁	
20 . 3	Fortbewegung ohne dass alle Teile gesichert sind	N										
20 . 4	zu hohe Geschwindigkeit einer durch Fußgänger geführten Maschine	N										
20 . 5	zu starke Schwingungen bei der Fortbewegung	N										
20 . 6	ungenügende Möglichkeit die Maschine zu verlangsamen, stillzusetzen und unbeweglich zu machen	J	III	Fahrkorb	Wenn Bremse versagt, kann Fahrkorb nicht gestoppt werden	S ₃ A ₂ E ₂ W ₁	8	K	Fangvorrichtung integrieren	S ₂ A ₂ E ₂ W ₁	4	JA
21	Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungsergebnisse aufgrund von Bewegungen, in Verbindung mit dem Arbeitsplatz (einschl. Fahrerkabine auf der Maschine)											
21 . 1	Fall von Personen beim Zugang zum oder vom Arbeitsplatz	J	III	Fahrkorb	Beim Verlassen und Betreten der Fahrerkabine ist eine kleine Stufe zu überwinden	S ₁ A ₀ E ₂ W ₃	1	W	Warnhinweis anbringen	S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	0	NEIN
21 . 2	Abgase / Sauerstoffmangel am Arbeitsplatz	N										
21 . 3	Feuer (Entflammbarkeit der Kabine, Mangel an Feuerlöschvorrichtungen)	J	I-VII	Boarding Device	Gefahr besteht bei der Verwendung leicht brennbarer Materialien	S ₃ A ₂ E ₁ W ₂	9	K	Schwer entflammbare Materialien verwenden	S ₃ A ₂ E ₂ W ₁	8	JA
21 . 4	mechanische Gefährdungen am Arbeitsplatz:	N										
21 . 5	Berührung der Räder	N										
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzzausrüstung W = Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko		Lösung	Risikopfad	Risiko	Schutzmaßnahmen / Restrisiko JA / NEIN
							VOR	Prinzip				
21 . 6	Überrollen	N										
21 . 7	Herabfallen von Gegenständen, Durchdringen durch Gegenstände	N										
21 . 8	Bruch von mit hoher Geschwindigkeit rotierenden Teilen	J	III	Spindel	Spindel kann bei zu hohen Geschwindigkeit denbelastungen nicht mehr gewachsen sein	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	8	K	Geschwindigkeit kontrollieren und reduzieren	S ₂ A ₂ E ₂ W ₁	4	JA
21 . 9	Berührung von Personen mit Maschinenteilen oder Werkzeugen (bei durch Fußgänger geführten Maschinen)	N										
21 . 10	ungenügende Sichtbarkeit aus der Arbeitsposition	N										
21 . 11	ungeeignete Beleuchtung	J	II-V	Schacht	Schacht ist nicht bzw. nicht ausreichend beleuchtet	S ₂ A ₁ E ₁ W ₂	2	W	Entsprechende Beleuchtung muss mitgeführt werden	S ₂ A ₁ E ₁ W ₁	1	JA
21 . 12	ungeeigneter Sitz	N										
21 . 13	Lärm am Arbeitsplatz	N										
21 . 14	Vibrationen am Arbeitsplatz	N										
21 . 15	unzureichende Evakuierungsmöglichkeiten Fluchtwege / Notausgänge	J	III	Fahrkorb	Fahrkorb kann im Notfall nicht durch normale Tür verlassen werden	S ₁ A ₀ E ₁ W ₂	0	W	Notklappe integrieren	S ₁ A ₀ E ₁ W ₁	0	NEIN
22	Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignisse aufgrund von Bewegungen, zurückzuführen auf das Steuerungssystem											
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung												
Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W= Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko	Lösung		Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko JA / NEIN
						VOR	Prinzip	Erklärung	Nach			
22 . 1	ungeeignete Positionierung von Stellteilen	N										
22 . 2	ungeeignete Konstruktion der Stellteile und Ihrer Betriebsweisen	N										
23	Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignisse aufgrund von Bewegungen, durch Arbeiten an der Maschine (Stabilitätsverlust)											
23 . 1		N										
24	Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignisse aufgrund von Bewegungen, zurückzuführen auf die Energiequelle und Energieübertragung											
24 . 1	Gefährdungen durch Motor und Batterie	J	II-V	Antrieb	Motor ist mit Drehstom betrieben	S ₃ A ₂ E ₁ W ₂	6	W	Geschultes und eingewiesenes Personal einsetzen	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	5	JA
24 . 2	Gefährdungen durch die Energieübertragung zwischen Maschinen	J	II-V	Antrieb	Motor ist mit Drehstom betrieben	S ₃ A ₁ E ₁ W ₂	6	W	Geschultes und eingewiesenes Personal einsetzen	S ₃ A ₁ E ₁ W ₁	5	JA
24 . 3	Gefährdung durch Kupplungen und Seilzüge	N										
25	Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignisse aufgrund von Bewegungen, durch bzw. für dritte Personen											
25 . 1	unerlaubtes Starten / Benutzen	J	II-V	Bereich unter / über Boarding Device	Bereich unter und über der Boarding Device muss während des Betriebs freigehalten werden	S ₃ A ₂ E ₁ W ₂	8	K	Lichtschränke bzw. Drucksensoren installieren	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	7	JA
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Schutzrüstung S = Schutztausrüstung W = Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko	Lösung		Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko JA / NEIN
						S ₃ A ₂ E ₁ W ₂	8	VOR	Prinzip	Erklärung	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	
25 . 2	Bewegung eines Maschinenteils über seine Halteposition hinaus	J	II-V	Bereich unter / über Boarding Device	Bereich unter und über der Boarding Device muss während des Betriebs freigehalten werden	S ₃ A ₂ E ₁ W ₂	8	K	Lichtschränke bzw. Drucksensoren installieren	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	7	JA
25 . 3	Fehlen oder mangelnde Eignung von optischen oder akustischen Warneinrichtungen	J	II-V	Bereich unter / über Boarding Device	Bereich unter und über der Boarding Device muss während des Betriebs freigehalten werden	S ₃ A ₂ E ₁ W ₂	8	K	Lichtschränke bzw. Drucksensoren installieren	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	7	JA
26	Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignisse aufgrund von Bewegungen, unzureichende Anweisungen für den Fahrer / Bediener											
26 . 1		N										
27 . 2	Zusätzliche Gefährdungen und Gefährdungseignisse aufgrund von Hebevorgängen											
27 . 3	durch herabfallende Lasten, Zusammenstöße, Anstoßen der Maschine wegen:	N										
27 . 4	mangelnder Stabilität	N										
27 . 5	falscher Beladung, Überlastung, Überschreiten der Kippmomente	J	II-V	Antrieb / Führungsschiene	Belastung höher als in Auslegung	S ₃ A ₂ E ₂ W ₃	9	W	Warnhinweis anbringen	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	7	JA
27 . 6	unkontrollierten Bewegungsausschlägen beim ein und ausschalten	N										
27 . 7	unerwarteten / unbeabsichtigten Ladungsbewegungen	N										
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W = Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko		Lösung	Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko JA / NEIN
							VOR	Prinzip				
27 . 8	ungeeigneten Befestigungsmittel / Zubehörteilen	N										
27 . 9	Zusammenstoß von mehreren Maschinen	N										
27 . 10	durch Zugang von Personen zu Lastträgern	N										
27 . 11	durch Entgleisen	J	II-V	Führungsschiene	Fahrkorb fällt unkontrolliert	S ₃ A ₂ E ₂ W ₂	9	K	Fangvorrichtung anbringen	S ₂ A ₂ E ₂ W ₁	4	JA
27 . 12	durch ungenügende mechanische Festigkeit von Bauteilen	J	II-V	Boarding Device	Gefährdung für Passagiere	S ₃ A ₂ E ₂ W ₂	9	K	Entsprechende Anforderungen aus DIN EN 81-1 2000 und TRA 5.1300 1994 beachten	S ₃ A ₂ E ₁ W ₁	8	JA
27 . 13	durch ungeeignete Konstruktion von Lastaufnahmemaken und -trommeln	J	II-V	Bording Device	Gefährdung für Passagiere	S ₃ A ₂ E ₂ W ₂	9	K	Entsprechende Anforderungen aus DIN EN 81-1 2000 und TRA 5.1300 1994 beachten	S ₃ A ₂ E ₂ W ₁	8	JA
27 . 14	durch ungeeignete Auswahl von Ketten, Seilen, Hebeeinrichtungen und Zubehör und deren ungeeigneten Einbau in der Maschine	J	II-V	Antrieb / Führungsschiene	Gefährdung für Passagiere	S ₃ A ₂ E ₂ W ₂	9	K	Entsprechende Anforderungen aus DIN EN 81-1 2000 und TRA 5.1300 1994 beachten	S ₃ A ₂ E ₂ W ₁	8	JA
27 . 15	durch Herablassen der Last unter Überwachung der Reibungsbremse	N										
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzzausrüstung W= Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risiko		Lösung		Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko JA / NEIN
						VOR	Prinzip	Erklärung	Nach			
27 . 16	durch abnormale Bedingungen für Montage/ Prüfung/ Nutzung/ Instandhaltung	N										
27 . 17	durch Einwirkung der Last auf Personen (Stoß durch Last oder Gegengewicht)	N										
28 Zusätzliche Gefährdungen und Gefährdungsereignisse aufgrund von Hebevorgängen, elektrischer Gefährdungen												
28 . 1	durch Blitzschlag	N										
29 Gefährdungen durch die Vernachlässigung ergonomischer Grundsätze												
29 . 1	Ungenügende Sichtbarkeit aus der Fahrerposition	N										
30 . 2 Mechanische Gefährdungen und Gefährdungsereignisse aufgrund von:												
30 . 3	Mangelnde Stabilität von Schreitaufbauten	N										
30 . 4	Ausfall der Antriebs- oder Bremssteuerung bei schienenungebundenen Hebezeugen	J	II-V	Antrieb	Fahrkorb kann nicht bis zu üblichen Endstation befördert werden	S ₁ A ₀ E ₂ W ₂	1	K	Notklappe bzw. Notbetätigung integrieren	S ₁ A ₀ E ₂ W ₁	0	NEIN
30 . 5	Ausfall oder Fehlen von Totmannschaltern bei schienenungebundenen Maschinen	N										
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung												
Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W = Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikofad	Risiko	Lösung		Risikofad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko Nach JA / NEIN
						VOR	Prinzip	Erklärung	Nach			
31 Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignisse aufgrund von Arbeiten unter Tage.												
31 . 1		N										
32 Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignisse aufgrund von Arbeiten unter Tage. Feuer und Explosion												
32 . 1		N										
33 Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignisse aufgrund von Arbeiten unter Tage. Emission von Staub, Gasen usw.												
33 . 1		N										
34 Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignissen aufgrund von Hebe- bzw. Fortbewegungsvorgängen für Personen.												
34 . 1	ungeeigneter mechanischer Festigkeit - ungeeigneten Arbeitskennziffer	J	II-V	Boarding Device	Gefährdung für Passagiere	S ₃ A ₂ E ₂ W ₂	9	K	Entsprechende Anforderungen aus DIN EN 81-1 2000 und TRA 5.1300 1994 beachten	S ₃ A ₂ E ₂ W ₁	8	JA
34 . 2	Ausfall der Ladesteuerung	N			Fahrkorb kann nicht bis zu üblichen Endstation befördert werden				Notklappe bzw. Notbetätigung integrieren	S ₁ A ₀ E ₂ W ₁	0	NEIN
34 . 3	Ausfall der Steuerung in Personentransporteinrichtungen	J	II-V	Antrieb	Es kann zum Bruch der Spindel kommen	S ₁ A ₂ E ₂ W ₂	9	K		S ₁ A ₀ E ₂ W ₁	0	NEIN
34 . 4	zu hoher Geschwindigkeit bei Personentransporteinrichtungen	J	II-V	Antrieb		S ₁ A ₂ E ₂ W ₂	9			S ₁ A ₀ E ₂ W ₁	0	NEIN
35 Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignissen aufgrund von Hebevorgängen für Personen.												
35 . 1		N										
36 Zusätzliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungseignissen aufgrund von Hebevorgängen für Personen.												
36 . 1		N										
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzausrüstung W = Warnhinweis												

Nr.:	Gefährdung nach EN 1050	Vorhanden J / N	Lebensphase	Gefährdungszone	Beschreibung	Risikopfad	Risiko	Lösung	Risikopfad	Risiko	Schutz- maß- nahmen / Restrisiko JA / NEIN
						VOR	Prinzip		Nach		
37 Menschliches Fehlverhalten, menschliches Verhalten											
Lebensphase: I = Transport II = Inbetriebnahme III = Betrieb IV = Wartung V = Instandsetzung VI = Lagerung VII = Entsorgung Lösung/Prinzip: K = Konstruktiv S = Schutzzausrüstung W = Warnhinweis											

6 Zusammenfassung

6.1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die einzelnen Schritte, welche für die Konstruktion eines Boarding Device notwendig sind, dargestellt, erläutert und durchgeführt. Hierfür mussten die Komponenten des gewählten Grundentwurfes ausgelegt und unter der Betrachtung einer sicherheitsrelevanten Gefahrenanalyse konstruiert werden. Die verschiedenen mechanischen Komponenten wurden dann in Catia realisiert und zu einem Gesamtsystem zusammengesetzt.

Um den entsprechenden Anforderungen der verschiedenen Bereiche gerecht werden zu können, wurden sowohl die Wünsche der Betreiber als auch die technischen Aspekte betrachtet. Das Boarding Device wurde demnach so konstruiert, dass es direkt neben dem master-bedroom integriert werden konnte und den gesteigerten Komfortanforderungen des Betreibers genügt. Dennoch wurden die technischen Anforderungen nicht vernachlässigt. Um den Schwerpunkt nicht von der Center Line zu verlagern, wurde darauf geachtet, das Boarding Device symmetrisch zu ihr ausführen.

Um verschiedene Grundentwürfe gegeneinander abwägen zu können, wurden wichtige Bewertungskriterien zusammengefasst und in einer Nutzwertanalyse verarbeitet. Die Ausführung als konventioneller Personenfahrstuhl wurde als sinnvollste Alternative herausgearbeitet.

Bei der Konstruktion des Fahrstuhls wurden dann die mechanischen Komponenten betrachtet. Der Fahrkorb wurde als verkleidetes Rahmengerüst ausgeführt, welches von einem Spindelhubgetriebe an Führungsschienen bewegt wird. Die Führungsschienen wurden teleskopartig konstruiert, damit der Fahrstuhl bei allen Beladungszuständen genutzt werden kann. Zum Verschließen des Fahrkorbes wurde auf ein vierflügliges Schiebetürensysteem zurückgegriffen, welches mit Elektromotoren angetrieben wird. Die Verbindung mit der Rumpfstruktur des Flugzeugs erfolgt dann ausschließlich über die Anbindung des Fahrstuhlschachtes. Über ihn werden alle Kräfte in die Flugzeugstruktur geleitet.

Um den Fahrkorb sicher zu konstruieren, wurde parallel zur Konstruktion eine Gefahrenanalyse nach **DIN EN 1050** durchgeführt. Abschließend wurden alle konstruierten Komponenten in Catia verarbeitet und zu einem Gesamtsystem zusammengestellt, sodass man sich nun als nächstes mit den elektrischen Komponenten des Fahrstuhls beschäftigen kann.

6.2 Weiterführende Arbeiten

Aufgrund des umfassenden Themas sollte in dieser Diplomarbeit nur ein Teil der notwendigen konstruktiven Arbeiten durchgeführt werden. Um die Arbeit zu vervollständigen sind unter anderem die folgenden Themen zu bearbeiten:

- ATA 23 Communication
- ATA 24 Electrical Power
- ATA 25 Equipment and Furnishing
- ATA 29 Hydraulic Power
- ATA 33 Lighting Passenger Compartment
- ATA 38 Water and Waste
- ATA 52 Doors
- ATA 53 Fuselage
- Elektrische Ausrüstungen
 - Beleuchtung
 - Steckdosen
 - Notrufeinrichtung
 - Fahrbefehlgeber
 - Entertainment Equipment
 - Sicherheitseinrichtungen
 - Notbetätigung
 - Notstopp-Einrichtung
 - Drucksensoren
 - Lichtschranken
 - Hupe
 - Fangvorrichtung

Literaturverzeichnis

- AB Roloff/Matek 2005** MUHS, Dieter.; WITTEL, Herbert: *Maschienelemente: Arbeitsblätter*. Wiesbaden: Vieweg, Mai 2005
- CS-25 2008** CS Teil 25 September 2008. *Certification Specification for Large Aeroplanes CS-25*.
- die.net** URL: <http://dictionary.die.net/boarding> (2009-01-15)
- DIN EN 1050** Norm DIN EN 1050 2002. *Gefährdungsbeurteilung für Arbeitmittel: Sicherheit von Maschinen*
- DIN EN 81-1 2000** Norm DIN EN 81 Teil 1 Mai 2000. *Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen: Elektrisch betriebene Personen- und Lastenaufzüge*
- Dubbel 2007** GROTE, Karl H.; FELDHUSEN, Jörg: *Taschenbuch für den Maschinenbau*. Berlin: Springer, 2007
- GM 2006** *SWE KSH* Januar 2006. –URL: www.swe.de (2009-01-12)
- KSH 2008** *Kegel-Schnellhubgetriebe (kubisch) Januar 2008*. –URL: www.inkoma.de (2008-01-12)
- Roloff/Matek 2005** MUHS, Dieter.; WITTEL, Herbert: *Maschienelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung*. Wiesbaden: Vieweg, Mai 2005
- TRA 5.1300 1994** TRA 51300 1994. *Technische Regeln für Aufzüge: Vereinfachte Personenaufzüge*