



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

DIPLOMARBEIT

Entwicklung von Armaturen für das Datenübertragungskabel auf Seilbahnstützen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Georg Kartnig**

E307 Institut für Konstruktionswissenschaften und Technische Logistik

Forschungsbereich Konstruktionslehre und Fördertechnik

Technische Universität Wien,

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Stefan Saccavini

Matr.Nr.: 01227463

Kehlermähder 9

6850 Dornbirn

Wien, im Februar 2019

Stefan Saccavini

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

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Wien, Februar, 2019

Stefan Saccavini

Kurzfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Baukastensystems und einer Baureihe für Seilschuhe auf Seilbahnstützen, auf denen Lufthängekabel unterschiedlicher Bauart und unterschiedlicher Durchmesser geführt und gelagert werden sollen.

Die Anforderungen an diese Auflagen steigen aufgrund der immer länger werdenden Seilfelder und extremeren Seilbahnen. Speziell die Pressungen im Auflagebereich und die Schwingungen der Seile im Feld stellen ein Problem dar. Da das Lufthängekabel über dem Zug- oder Tragseil angeordnet ist, kann es bei einem Versagen zu massiven Schäden für Personen und Umgebung kommen.

Um eine zufriedenstellende Lösung zu erarbeiten, wird deshalb zu Beginn dieser Diplomarbeit auf die theoretischen Grundlagen, hier im Speziellen auf die Schädigung von Seilen, die Methoden zur Berechnung der Pressungen und die Schwingungen von Seilen sowie die Maßnahmen zur Reduzierung der Seilschwingungen eingegangen. Anschließend wird eine Analyse des Istzustandes im Zeitraum von 2012 bis 2017 durchgeführt, wobei hier vor allem die Arten der Lufthängekabel, das bisherige System, die auftretenden Belastungen, eine Anlagenanalyse sowie die Berechnung der Pressungen betrachtet werden.

Für die Entwicklung der Lösungen werden die Hauptarbeitsschritte Klären der Aufgabe, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten durchgeführt. Mithilfe der Arbeitsschritte beim Konstruieren wird im Entwicklungsprozess zuerst eine Anforderungsliste erstellt. Ausgehend von dieser werden in der Konzeptphase Lösungen für die Problematik erstellt und bewertet, um eine prinzipielle Lösung zu bekommen. In der Entwurfsphase wird diese Lösung dann zu einem endgültigen Entwurf für den Baukasten erweitert. Dieser stellt die Grundlage zum Erarbeiten der Baureihe dar. In einem letzten Schritt werden in der Ausarbeitungsphase die Stücklisten und technischen Zeichnungen aller Einzelteile, Schweißbaugruppen sowie Zusammenstellungszeichnungen ausgearbeitet. In dieser Arbeit soll der gesamte Entwicklungsprozess ausführlich dokumentiert werden.

Insgesamt wurden so 45 unterschiedliche neue Seilschuhe ausgearbeitet. Diese setzten sich aus 5 unterschiedlichen Ausführungen für den Baukasten zusammen, welche durch 9 unterschiedliche Kombinationen von Seiltyp und Seildurchmesser zu einer Baureihe erweitert wurden.

Abstract

The goal of this thesis is to design a model series and a construction kit for the guide shoe on cable car supports on which the overhead cables with different cable types and different cable diameters are used.

Due to the increasing lengths of the rope spans and even more extreme ropeways, the requirements on this rope support are also increasing. This causes problems as the increasing pressures in the rope support and the rope oscillation in the rope span. Since the overhead cable is located above the haul rope, an improper condition of this cable, such as fracture, excessive sag and others, can have serious consequences for the proper functioning of the ropeway and thus pose a hazard to passengers and other people in the area of the ropeway.

To achieve a satisfying solution the beginning of this thesis concentrates on the theoretical principles, especially the damage mechanisms of ropes, the methods for the calculation of stress, the oscillations of ropes and the measures to reduce these oscillations.

Afterwards status analysis of the period from 2012 to 2017 will be done, whereby the focus of the investigation is put on the used types of overhead cables, the current system, the occurring loads and the stresses due to this loads.

Afterwards the main work steps for the design, such as the list of requirements, concept and development will be done. The solution of this design process will be expanded for a model series.

In this thesis the entire design process will be documented in detail.

In total the sum of 45 new rope shoes had been worked out. Whereas these 45 rope shoes consist of 5 different solutions for the construction kit, which were extended to the model series by 9 different combinations of rope type and rope diameter.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Motivation.....	2
1.3	Ziel der Arbeit	3
1.4	Aufbau der Arbeit.....	3
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Beschreibung des Systems.....	5
2.2	Stahldrahtseile	6
2.3	Verschleiß und Schädigung von Seilen	7
2.4	Längenbezogene Anpresskraft, Flächenpressung und Seilpressung	8
2.5	Schwingungen von Seilen.....	13
2.5.1	Böenerregung	14
2.5.2	Wirbelerregte Schwingungen	15
2.5.3	Galloping	15
2.5.4	Flattern.....	16
2.5.5	Wind-Regen-induzierte Schwingungen	16
2.5.6	Impulse infolge Eisabfall	16
2.5.7	Maßnahmen zur Reduzierung von Seilschwingungen.....	17
3	Analyse des Istzustandes.....	20
3.1	Lufthängekabel	20
3.1.1	Kabelbündel.....	20
3.1.2	Setrakabel.....	22
3.1.3	Spezialkabel mit integriertem Lichtwellenleiter	22
3.2	Armaturen auf Stützen	22
3.2.1	Gleitschuh für Einseilumlaufbahnen	22
3.2.2	Gleitschuh Garaventa	23
3.2.3	Umlenkschuh 3S.....	24

3.3	Belastungen auf das Lufthängekabel	25
3.4	Anlagenanalyse	26
3.5	Berechnung und Analyse der Pressungen.....	30
3.6	Aufgetretener Schadensfall	33
3.7	Versetzen	34
3.8	Schwachstellenanalyse der bisher eingesetzten Seilschuhe.....	35
4	Klären der Anforderungen.....	36
4.1	Anforderungsliste.....	37
5	Konzipieren.....	42
5.1	Abstrahieren zum Erkennen der wesentlichen Probleme	43
5.2	Aufstellen von Funktionsstrukturen: Gesamtfunktion – Teilfunktionen	43
5.3	Suche nach Wirkprinzipien zum Erfüllen der Teilfunktionen	48
5.4	Kombinieren der Wirkprinzipien.....	49
5.5	Auswählen geeigneter Kombinationen	53
5.6	Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten	55
5.7	Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien	56
5.8	Festlegen der prinzipiellen Lösung und Freigabe zum Entwerfen	58
6	Entwerfen	61
6.1	Vorgehen	62
6.2	Realisierung des Baukastensystems	63
6.3	Wichtige Funktionsträger	65
6.3.1	Kunststoffeinlage.....	65
6.3.2	Anpassung an Seilverlauf	67
6.3.3	Positionsüberwachungseinheit.....	68
6.3.4	Seil an zu starkem Rutschen hindern	69
6.3.5	Einziehen des Seils ermöglichen.....	70
6.4	Lösungen	71
6.4.1	Trag- und Niederhalteausführung.....	72

6.4.2	Kombiausführung ohne und mit Positionsüberwachungseinheit	73
6.4.3	Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachungseinheit.....	73
6.5	Bewerten der Lösungen	74
7	Entwicklung der Baureihe	77
7.1	Berechnung der Pressungen für die neuen Seilschuhe	81
8	Ausarbeiten	84
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	87
10	Literaturverzeichnis.....	89
11	Abbildungsverzeichnis	91
12	Tabellenverzeichnis	94
13	Anhang.....	95

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Bei Seilbahnen ist es nicht immer möglich, die Kabel für die Signalübertragung von der Tal- zur Bergstation und von den Stationen zu den einzelnen Stützen im Erdreich als sogenanntes Erdkabel zu verlegen. Deshalb werden diese dann als Lufthängekabel über der Seilbahn angebracht (siehe Abbildung 1). Diese Variante kommt gerade bei Seilbahnen im urbanen Bereich zum Einsatz. Das Lufthängekabel kann aber auch bei allen anderen Standorten verwendet werden.

Die Anforderungen an das Lufthängekabel werden immer größer, z.B. aufgrund von längeren Seilfeldern oder größeren Kabelquerschnitten.

Insbesondere aufgrund der immer längeren Seilfelder werden die Probleme der Schwingungsanfälligkeit des Datenübertragungskabels relevanter. Zudem steigen auch die Belastungen des Lufthängekabels im Auflagebereich auf den Stützen. Sowohl die Schwingungen als auch die immer höher werdenden Massen der Lufthängekabel können diese über deren Beanspruchungsgrenzen belasten.



Abbildung 1: Lufthängekabel in urbanem Bereich

Für die Auslegung der Auflagebereiche des Lufthängekabels sind hier vor allem folgende Punkte von Relevanz:

1. Flächenpressung: Es muss sichergestellt werden, dass die vorgegebenen Grenzwerte seitens der Seilhersteller nicht überschritten werden.
2. Ermüdungsbelastung: Durch die Schwingungen des Lufthängekabels und die sich daraus ergebenden Lastspiele darf kein Versagen auftreten.
3. Verschleiß: Weder das Seil noch der Auflagebereich dürfen aufgrund der sich ergebenden Belastungen zu sehr verschleifen.

Daraus ergeben sich folgende Probleme:

- Aufgrund der unterschiedlichen Belastungsfälle kann die Auflagefläche des Seiles auf den Stützen stark variieren. Hier wäre eine möglichst große Auflagefläche wünschenswert, um die lokalen Belastungen zu verringern. Gleichzeitig soll der Auflagebereich aber auch nicht überdimensioniert werden.
- Aufgrund von Schwingungen und Witterungseinflüssen kann es in den Ein- und Auslaufzonen zu großen Biegungsbelastungen kommen. Dies wirkt sich negativ auf die Lebensdauer des Seiles aus. Deshalb sollten zu starke Biegungen vermieden werden.
- Aufgrund der Belastungen des Lufthängekabels im Auflagebereich ist es bis dato vorgesehen, dieses nach einem Zeitraum von vier Jahren zu versetzen. Wünschenswert wäre es, wenn das Versetzen durch eine geeignete Auflagefläche nicht mehr nötig wäre oder wenn dieses Versetzungsintervall vergrößert werden kann.
- Aufgrund der sich ergebenden Belastungen sollte der Auflagebereich weich sein, um den Verschleiß am Seil möglichst zu vermeiden. In Bezug auf den Verschleiß der Einlage sollte diese aber möglichst hart sein.

1.2 Motivation

Aufgrund der immer größer werdenden Belastung werden die Gefahren eines Schadens oder Versagens des Lufthängekabels immer wahrscheinlicher. Diese Gefahren sollen durch eine neue Konstruktion des Auflagebereichs gesenkt werden. Wegen der mittigen Lage des Datenübertragungskabels über der Seilbahn birgt ein Versagen, wie zum Beispiel ein Riss, ein sehr großes Gefahrenpotential für Personen in der Seilbahn, aber auch für Personen oder Bauwerke in der Nähe der Seilbahn.

1.3 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer Baureihe des Auflagebereichs für das Datenübertragungskabel auf Seilbahnstützen für Kabel mit unterschiedlichen Durchmessern und für unterschiedliche Seiltypen, da die momentan ausgeführten Seilschuhe nicht für die immer größer werdenden Anforderungen ausgelegt wurden.

Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Ist-Zustandsaufnahme:
 - Welche Ausführungsformen wurden bisher verwendet?
 - Welche Belastungen treten auf?
 - Wie sieht der Kontakt zwischen Seil und Auflage aus?
- Wodurch werden Schwingungen von Seilen angeregt und wie können diese gedämpft werden?
- Wie soll die neue Auflagefläche / Berührsituation aussehen, um den Anforderungen zu genügen?
- Wie können Wartungsarbeiten, wie zum Beispiel die Kontrolle des Seiles in den Auflagebereichen, optimiert bzw. vereinfacht werden?
- Ist es möglich vom Versetzen des Seils abzusehen?

1.4 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn dieser Arbeit, in Kapitel 2, werden die theoretischen Grundlagen erarbeitet. Im speziellen wird auf den Kontakt zwischen Seil und Seilschuh sowie die unterschiedlich auftretenden Schwingungsformen von Seilen eingegangen. Anschließend wird in Kapitel 3 eine Analyse des Istzustandes durchgeführt. Hier wird zuerst erarbeitet, welche Ausführungsformen von Lufthängenkabeln bei den Seilbahnen der Doppelmayr Seilbahnen GmbH in den Jahren von 2012 bis 2017 zum Einsatz gekommen sind und wie diese auf den Stützen aufliegen. Des Weiteren wird eine Anlagenanalyse durchgeführt, wobei hier das Augenmerk auf die auftretenden Belastungen des Seilschuhs gelegt wird. Hierzu werden die benötigten Daten des Seilrechnungsprogramms der Doppelmayr Seilbahnen GmbH im oben angeführten Zeitraum betrachtet und ausgewertet.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird für die Entwicklung der Armaturen für das Datenübertragungskabel nach dem Buch Konstruktionslehre von Pahl & Beitz vorgegangen. In Abbildung 2 sind die Hauptarbeitsschritte beim Entwickeln dargestellt. Dies soll als Leitlinie für das Vorgehen in den Kapiteln 4 bis 8 gelten.

In Kapitel 4 wird auf die mit der Doppelmayr Seilbahnen GmbH und den Seilherstellern erarbeitete Anforderungsliste eingegangen. In Kapitel 5 werden dann einige von Pahl &

Beitz erklärte Werkzeuge zum Konzipieren angewendet. Kapitel 6 schildert die Entwurfsphase und die entwickelten Lösungen des Baukastens. Die Realisierung der Baureihe wird in Kapitel 7 beschrieben. Kapitel 8 handelt von der Ausarbeitung der Lösung. In Kapitel 9 wird dann noch eine Zusammenfassung der Arbeit sowie ein Ausblick in die Zukunft gegeben.

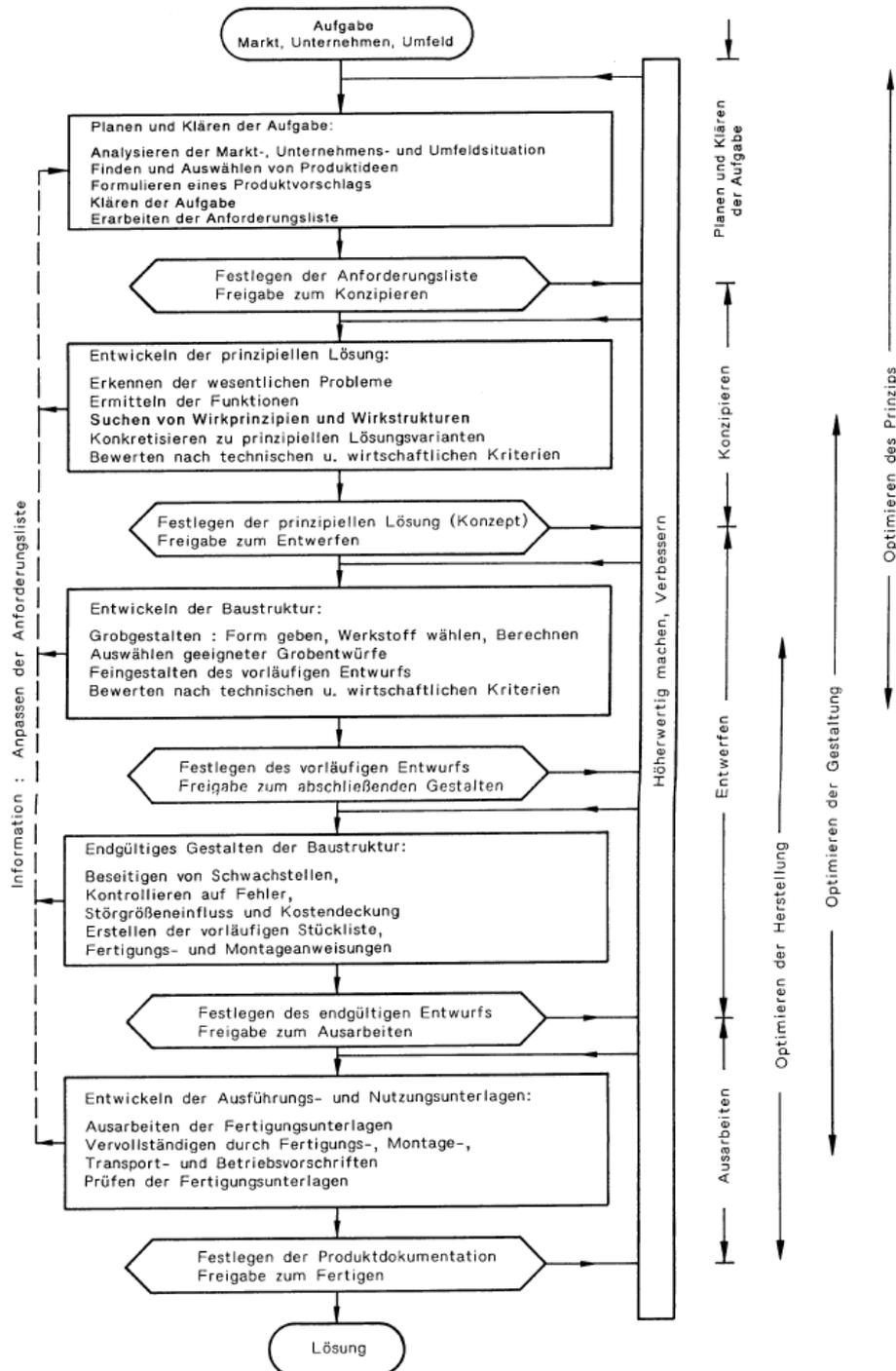


Abbildung 2: Hauptarbeitsschritte beim Planen und Konzipieren (Pahl & Beitz, 2005, S. 170)

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel wird zuerst auf die Beschreibung des Systems Lufthängekabel eingegangen. Anschließend werden einige Definitionen bezüglich der eingesetzten Stahldrahtseile erläutert und es wird auf den Verschleiß und die Schädigung von Seilen eingegangen. In darauffolgenden Unterkapitel werden einige Formeln zur Berechnung der Pressung zwischen Seil und Rille angegeben. Zum Ende dieses Kapitels werden noch die Schwingungen von Seilen erläutert und einige Maßnahmen zur Reduzierung von Seilschwingungen angegeben.

2.1 Beschreibung des Systems

Wird bei den Seilbahnen der Doppelmayr Seilbahnen GmbH ein Lufthängekabel zur Datenübertragung zwischen den Stationen und zwischen den Stationen und den Stützen verwendet, so verläuft dieses mittig über die Stützen (siehe Abbildung 3). In den Stationen werden die Lufthängekabel abgespannt und auf den Stützen über Gleitschuhe geführt. Diese Gleitschuhe werden je nach Seilverlauf als Trag-, Niederhaltegleitschuhe oder als Kombination aus Trag- und Niederhalter ausgeführt.

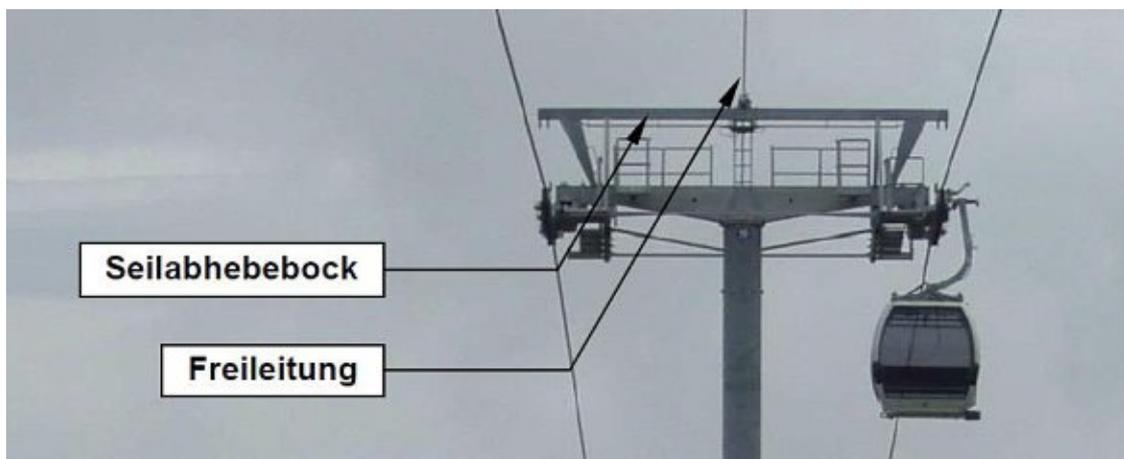


Abbildung 3: Stahlstütze mit Lufthängekabelaufleger

Das Lufthängekabel muss immer einen Mindestabstand zum Zugseil einhalten. Der Durchhang des Lufthängekabels ergibt sich aus dem statischen plus dem dynamischen Durchhang, wobei der dynamische Durchhang durch die später erläuterten windinduzierten Schwingungen sowie durch die Dynamik der Bauwerke entsteht.

In Abbildung 4 ist noch eine schematische Darstellung des Verlaufs des Lufthängekabels bei Seilbahnen der Doppelmayr Seilbahnen GmbH dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass das Lufthängekabel sowohl in der Tal- als auch in der Bergstation abgespannt wird und dazwischen über Gleitschuhe auf den Stützen verläuft.

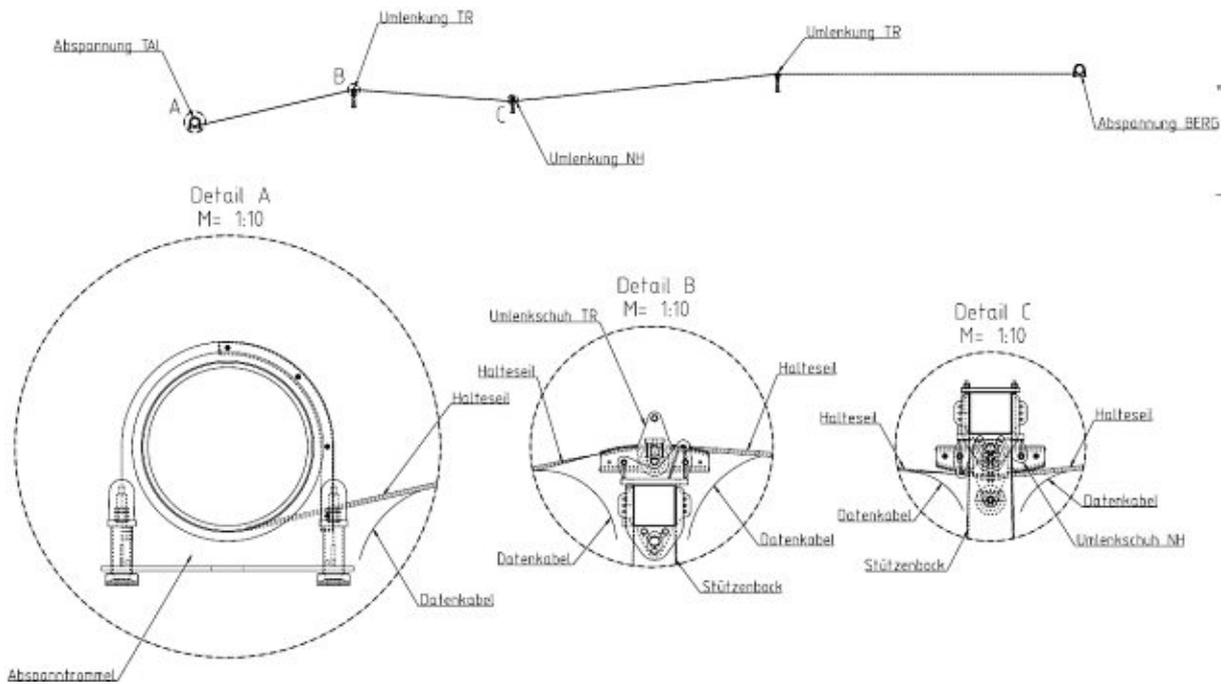


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Verlaufs vom Lufthängekabel mit Abspannungen und Umlenkungen

2.2 Stahldrahtseile

Im Allgemeinen kann man die Drahtseile von Seilbahnen in Spiralseile (darunter versteht man Seile in einfacher Verseilung) und Litzenseile (darunter versteht man Seile in mehrfacher Verseilung) einteilen (vgl. Stammler, 2014, S. 14).

Für das Lufthängekabel werden bei der Doppelmayr Seilbahnen GmbH offene Spiralseile verwendet.

Beim Spiralseil handelt es sich um „eine Konstruktion mit mindestens zwei Drahtlagen, die schraubenförmig über einen Kern, üblicherweise einen Runddraht verseilt werden. Mindestens eine Drahtlage ist gegenüber den anderen Drahtlagen in Gegenrichtung verseilt, d. h. im Gegenschlag, um die Dreheigenschaften zu optimieren“ (DIN EN 12385-2, 2008-06, S. 14).

In Tabelle 1 sind die Querschnitte offener Spiralseile mit unterschiedlich vielen Einzeldrähten dargestellt. Bei einem Spiralseil mit Aufbau 1x19 lautet die Flechtformel $1 + 6 + 12$ und bei dem Spiralseil mit Seilbezeichnung 1x37 lautet sie $1 + 6 + 12 + 18$. Das bedeutet, dass sich in der ersten Lage ein Draht, in der zweiten Lage 6, in der Dritten 12 und wenn vorhanden in der vierten Lage 18 Drähte befinden.

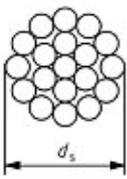
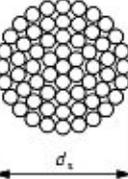
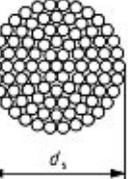
Offenes Spiralseil				
				
Aufbau	1 × 19	1 × 37	1 × 61	1 × 91
Durchmesser d_s in mm	3 bis 14	6 bis 36	20 bis 40	30 bis 52
Litzen	1	1	1	1
Drähte je Litze	19	37	61	91
Äußere Drähte je Litze	12	18	24	30
Nomineller metallischer Querschnittsfaktor C	0,6	0,59	0,58	0,58
Bruchlastfaktor K	0,525	0,52	0,51	0,51

Tabelle 1: Offene Spiralseile (DIN EN 1993-1-11, 2010-12, S. 37)

Unter der Schlaglänge (siehe Abbildung 5) versteht man die parallel zur Seillänge gemessene Ganghöhe eines Außendrahtes eines Spiralseiles, einer Außenlitze eines Litzenseils oder eines Schenkels eines Kabelschlageisels bei einer vollständigen Windung um die Achse des Seiles (vgl. DIN EN 12385-2, 2008-06, S. 19).

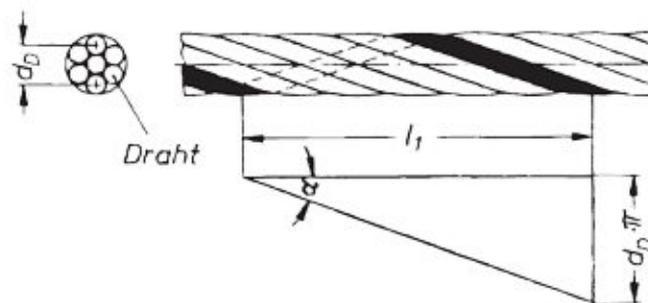


Abbildung 5: Schlaglänge und Schlagwinkel (Günthner, 1999)

2.3 Verschleiß und Schädigung von Seilen

Die Versagensmechanismen von Seilen können im Allgemeinen in drei Gruppen eingeteilt werden. Je nach Einsatzbedingungen und Belastung können diese in unterschiedlicher Weise lebensdauerbestimmend sein:

1. Ermüdung: Stetig wiederkehrende Biegung bzw. Zugschwellbelastung führen zur Ermüdung des Drahtes. Im Seil können diese Belastungen auch durch sekundäre Zug- und Biegespannungen hervorgerufen werden.
2. Verschleiß auf der Seiloberfläche durch Kontakt zwischen Seil und Scheiben, Rollen, und Trommeln.
3. Verschleiß innerhalb des Seils durch Kontakt zwischen Drähten des Seils (vgl. Reinelt, 2015, S. 81).

Im Zuge dieser Diplomarbeit wird nur auf die Punkte Ermüdung und Verschleiß eingegangen.

Die Grundmechanismen, die zu Verschleiß führen sind Adhäsion, Abrasion, Oberflächenzerrüttung, tribochemische Reaktion und Ablation. Diese Mechanismen überlagern sich meist und ihre Anteile am Verschleißprozess ändern sich im Laufe der Beanspruchung (vgl. Reinelt, 2015, S. 82)

Der Verschleiß auf der Seiloberfläche beim Kontakt zwischen Seil und Scheiben wird durch die Pressung und eine mögliche Relativbewegung hervorgerufen. Eine Relativbewegung ergibt sich aus dem Schlupf zwischen Seil und Scheibe und den Drahtverschiebungen im Seil während der Biegung. Das Seil unterliegt deshalb einem Gleitverschleiß und weist durch den Verschleiß am Umfang keine runden Drähte mehr auf. Am Kontakt zur Seilscheibe werden die Drähte gequetscht und nach und nach abgerieben (vgl. Reinelt, 2015, S. 82).

2.4 Längenbezogene Anpresskraft, Flächenpressung und Seilpressung

„Die auf der Seiloberfläche auftretenden Spannungen bzw. Drücke können grundsätzlich auf 3 verschiedene Ebenen betrachtet werden“ (Bärtsch, 2009, S. 30), diese sind in Abbildung 6 dargestellt. Hierbei handelt es sich um die Flächenpressung (a), die Seilpressung (b) und die Pressung auf der Ebene der Einzeldrähte (c). Bei der Pressung auf der Ebene der Einzeldrähte können lokal sehr hohe Werte erreicht werden. Zur Berechnung der Pressung auf der Ebene der Einzeldrähte wurden keine Formeln für die verwendeten Seile gefunden. Deshalb wird im Folgenden auf einige unterschiedliche Theorien zur Berechnung der Flächen- und Seilpressung eingegangen. Zu den einzelnen Theorien werden wichtig erscheinende Formeln angegeben und wenn nötig kurz erläutert. Die meisten angegebenen Formeln dienen zur Berechnung von Pressungen bei Schraubklemmen.

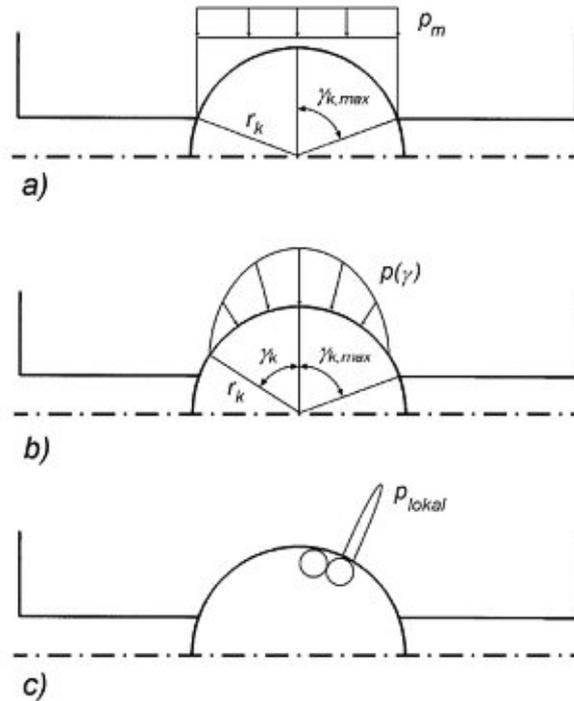


Abbildung 6: a) Flächenpressung b) Seilpressung c) lokale Pressung (Bärtsch, 2009, S. 30)

Im Folgenden werden die Begriffe längenbezogene Anpresskraft, Flächenpressung und Seilpressung sowie Theorien zu deren Berechnung erläutert.

Längenbezogene Anpresskraft q_0

Bestimmend für die Pressung zwischen Seil und Auflage ist die längenbezogene Anpresskraft. Diese ist die Kraft zwischen einem biegeschlaffen Faden und einer Scheibe und sie wird mit folgender Formel berechnet:

$$q_0 = \frac{2S}{D} \quad (1)$$

Hierbei versteht man unter S die Zugkraft und unter D den Durchmesser der Scheibe.

Die so berechnete längenbezogene Anpresskraft zwischen Seil und Seilrille verteilt sich quer zur Seilachse auf die einzelnen Litzen und Drähte (vgl. Feyrer, 2000, S. 178).

Flächenpressung p_0

„Als Flächenpressung wird die Pressung bezeichnet, die von einem biegeschlaffen Band von der Breite des Seildurchmessers auf einer zylindrischen Scheibe mit dem von Seilmitte zu Seilmitte gemessenen Scheibendurchmesser D erzeugt würde“ (Feyrer, 2000, S. 180).

Die so definierte Flächenpressung berechnet sich laut Feyrer (2000, S. 180 f.) wie folgt:

$$p_0 = \frac{q_0}{d} = \frac{2 S}{D d} \quad (2)$$

Weitere Theorien zu Berechnung der Flächenpressung und deren Formeln sind in Abbildung 7 dargestellt. Wobei es sich bei F um die gesamte Druckkraft, $\gamma_{k,max}$ um den halben Kontaktwinkel, d um den Seildurchmesser und L_k um die Berührungslänge handelt. Es ist zu sehen, dass bei all diesen Theorien die Flächenpressung als konstant über der Rillenbreite angesehen wird.

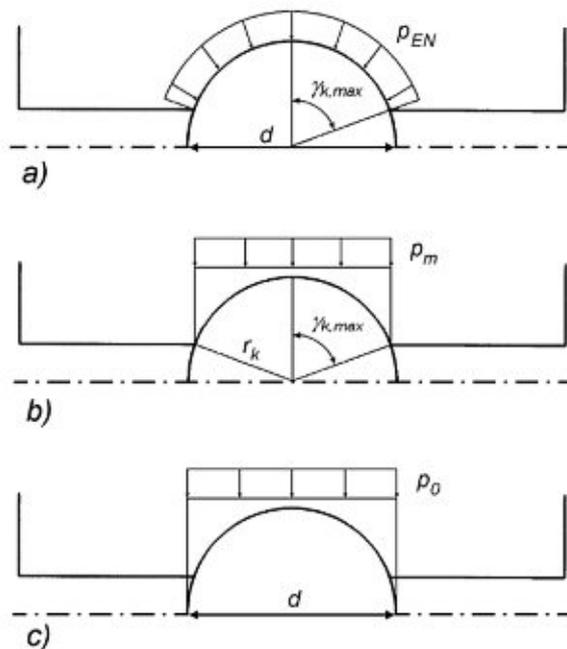


Abbildung 7: Unterschiedliche Theorien zur Flächenpressung (Bärtsch, 2009, S. 31)

$$p_{EN} = \frac{F}{\frac{2 \cdot \gamma_{k,max}}{360^\circ} \cdot \pi \cdot d \cdot L_k} \quad (3)$$

$$p_m = \frac{F}{2 \cdot r_k \cdot \sin(2 \gamma_{k,max}) \cdot L_k} \quad (4)$$

$$p_0 = \frac{F}{d \cdot L_k} \quad (5)$$

Bei Formel (3) handelt es sich um die Formel zur Berechnung des Klemmendrucks für Schraubklemmen, wie sie in DIN EN 12927 (2017-07) angeben ist.

Seilpressung

„Die Seilpressung ist die gedachte Pressung zwischen einem Seil mit glatter nicht durch Litzen und Drähte strukturierter Oberfläche (Oberfläche eines gebogenen Zylinders mit dem Durchmesser des Seiles) und der wirklichen Seilrille“ (Feyrer, 2000, S. 181 f.).

In Abbildung 8 ist die Seilpressung nach TRA 003 dargestellt. Hierbei wird die Seilpressung nach Folgender Formel berechnet:

$$k = \frac{q \cos(\gamma)}{d \left(\frac{1}{4} \sin 2 \gamma_2 + \frac{1}{2} \gamma_2 - \frac{1}{4} \sin 2 \gamma_1 - \frac{1}{2} \gamma_1 \right)} \quad (6)$$

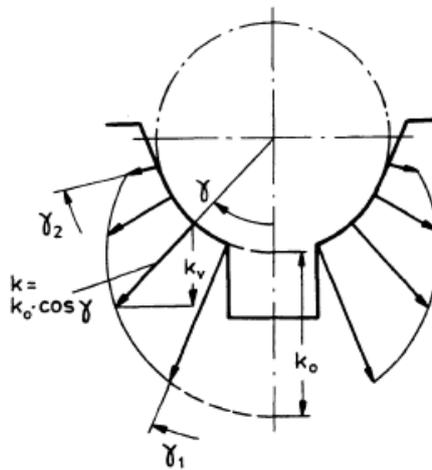


Abbildung 8: Pressung zwischen Seil und Sitzrille (Feyrer, 2000)

Die maximale Seilpressung ist in Wirklichkeit größer als oben beschrieben. Zum einen, weil die maximale längenbezogen Anpresskraft größer ist als mit Formel (1) berechnet und zum anderen, weil die Pressung quer zur Rille ungleichmäßiger ist als oben angenommen (vgl. Feyrer, 2000, S. 182).

Die Druckverteilung nach Hertz (siehe Abbildung 9) ist als eine Funktion der projizierten Fläche durch die x-Koordinate angegeben und die Cosinus-Förmige Verteilung (siehe Abbildung 10) als Funktion des Winkels γ .

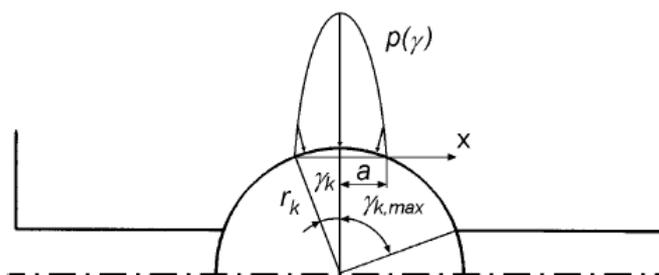


Abbildung 9: Druckverteilung nach Hertz (Bärtsch, 2009, S. 38)

Die Seilpressung nach Hertz wird mit den folgenden Formeln berechnet (vgl. Bärtsch, 2009, S. 38).

$$p(x/a) = p_{max} \cdot \sqrt{1 - (x/a)^2} \quad (7)$$

$$p_{max} = \frac{4}{\pi} \cdot \bar{p} = 1,27 \cdot \frac{F}{2 \cdot a \cdot L_k} \quad (8)$$

In Abhängigkeit von der Rillengeometrie und den Seileigenschaften sind für die Cosinus-Verteilung der Seilpressung zwei Fälle zu unterscheiden. Ist der effektive Berührungswinkel $\gamma_k < \gamma_{k,max}$, also kleiner dem maximal möglichen Winkel, so sieht die Druckverteilung in radialer Richtung wie in Abbildung 10 dargestellt aus:

$$p(\gamma) = p_{max} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\gamma}{\gamma_k}\right) \quad (9)$$

Für den Fall $\gamma_k \geq \gamma_{k,max}$ muss obige Formel noch modifiziert werden. Dies wird hier aber nicht erläutert (Bärtsch, 2009, S. 32).

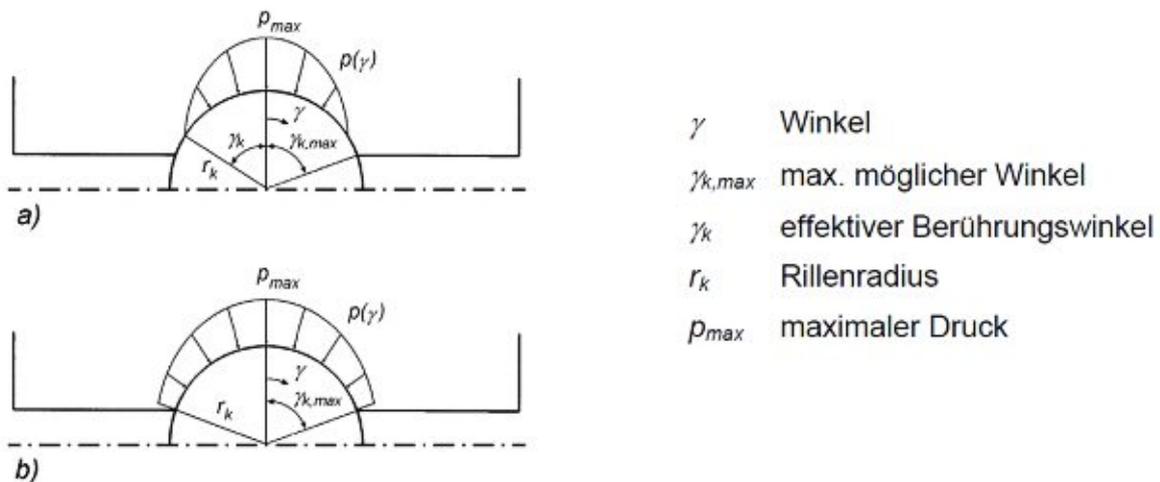


Abbildung 10: Cosinus-Förmige Druckverteilung (Bärtsch, 2009)

Die bisher beschriebenen Theorien betrachten den Kontakt für Seile und Rillen mit gleichen bzw. ähnlichen Durchmessern und ähnlichen Materialien. Im Folgenden wird noch darauf eingegangen, wie die Berechnung erfolgen kann, wenn entweder der Rillendurchmesser nicht genau mit dem Seildurchmesser übereinstimmt und oder wenn sich die Werkstoffe von Seil und Rille unterscheiden.

Hertzsche Theorie für den elastischen Kontakt gekrümmter Körper

Nach Czichos und Habig (2015, S. 47) kann der Maximaldruck p_0 für den Kontakt zweier paralleler Zylinder wie folgt berechnet werden.

$$p_0 = \left(\frac{F'_N \cdot R'}{\pi \cdot E'} \right)^{1/2} \quad (10)$$

Wobei F'_N für die Druckkraft pro Länge, F_N für die Druckkraft und l für die Kontaktlänge stehen. Der Vergleichskrümmungsradius R' berechnet sich mit den Radien R_1 und R_2 der Zylinderflächen. Wobei bei konkaver Krümmung der betreffende Radius negativ einzusetzen ist. Der Vergleichselastizitätsmodul E' wird mit den Elastizitätsmodulen E_1 und E_2 und den dazugehörigen Poissonzahlen ν_1 und ν_2 der beiden in Kontakt stehenden Werkstoffe berechnet.

$$F'_N = \frac{F_N}{l} \quad (11)$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (12)$$

$$\frac{1}{E'} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \quad (13)$$

Berechnung der Pressung nach der Fatzer AG

Der Seilhersteller Fatzer AG hat folgende Formel zur Berechnung der Pressung angegeben.

$$p = \frac{Q}{d \cdot L \cdot f} \quad (14)$$

In dieser Formel handelt es sich bei Q um die Stützendruckkraft, bei d um den Seilnennendurchmesser, bei L um die Auflagelänge und bei f um einen Abminderungsfaktor. Dieser Abminderungsfaktor wird verwendet, wenn sich der Rillendurchmesser und der Seildurchmesser unterscheiden. Bei Formel (14) handelt es sich um Formel (5), die zusätzlich mit einem Abminderungsfaktor ergänzt wurde.

2.5 Schwingungen von Seilen

Das Lufthängekabel kann auf unterschiedliche Arten in Schwingung geraten. Im Folgenden werden zuerst die möglichen Schwingungsanregungen von Seilen aufgezählt,

anschließend werden die wichtigsten Schwingungsformen bzw. deren Erregung kurz erklärt und auf die Maßnahmen zur Reduzierung der Schwingungen eingegangen.

Laut DIN EN 1993-1-11 (2010-12, S. 29) können aerodynamische Kräfte auf das Seil folgende Ursachen haben:

- Böenerregung (aus Turbulenz der anströmenden Luft)
- Wirbelerregung (durch Karmanwirbel im Nachlauf der Strömung)
- Galloping (Selbstinduktion)
- Interaktionsgalloping (Interaktion mit benachbarten Seilen)
- Wind-Regen-induzierte Schwingungen

Wobei in dieser Arbeit das Interaktionsgalloping vernachlässigt werden kann, da keine Interaktion mit benachbarten Seilen auftritt.

Abbildung 11 stellt die bezogene Amplitude durch den Seildurchmesser mit der Windgeschwindigkeit in Bezug. Die vollen Linien stellen Schwingungen quer zur Anströmrichtung und die gestrichelten Linien stellen Schwingungen in Windrichtung dar (vgl. Gilow, 2012, S. 27). Die größten Amplituden treten nach Abbildung 11 bei Regen-Wind-induzierten Schwingungen und Galloping auf.

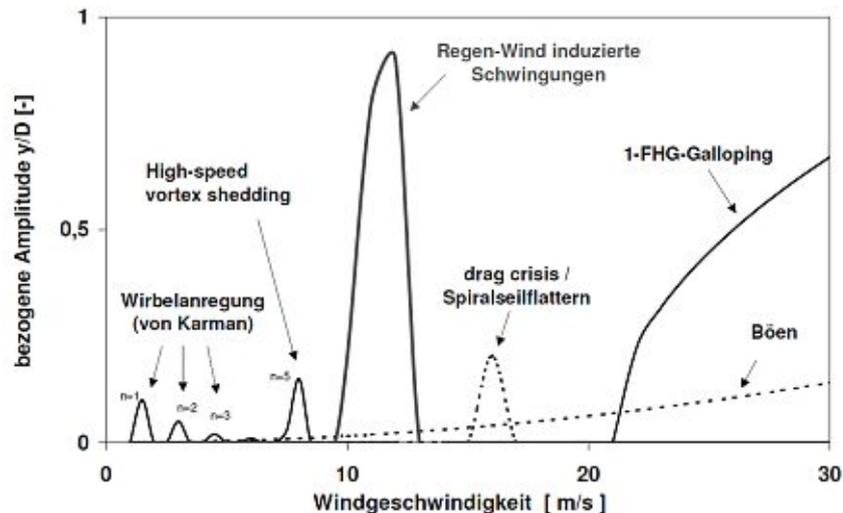


Abbildung 11: Überblick über Anregungsmechanismen bei Seilen (Nahrath, 2003, S. 34)

2.5.1 Böenerregung

Schwingungen infolge Böenerregung resultieren aus der Änderung der Windgeschwindigkeit und bewirken somit einen stetig veränderlichen Winddruck. Die Größe der Amplituden ist vor allem abhängig von der Profilform, der Windstärke und der Regelmäßigkeit der Anregung. Da Böen meist unregelmäßig und stoßartig einsetzen, kommt es praktisch nur durch hohe Windgeschwindigkeiten zu großen Auslenkungen. Diese sind fast ausschließlich in Anströmrichtung orientiert (vgl. Gilow, 2012, S. 20).

2.5.2 Wirbelerregte Schwingungen

Bei der Wirbelerregung löst sich die zunächst glatte Strömung rhythmisch und wechselseitig in den sogenannten Kármánschen Wirbeln von den Flanken des (wind-) umströmten Profils ab. Die so entstehende Änderung des lateralen Drucks führt zwangsläufig zu einer Sogwirkung und damit zur Seilbewegung quer zur Anströmrichtung. Sie ist abhängig von der Oberflächenrauigkeit, der Anströmgeschwindigkeit v , der Strouhal-Zahl St und dem Durchmesser d des Profils. Falls die Ablösefrequenz f_a der Wirbel

$$f_a = St \cdot \frac{v}{d}$$

im Bereich der Eigenfrequenz des Seiles liegt, kommt es zu Resonanzerscheinungen (vgl. Gilow, 2012, S. 19 f.).

Für Seilbahnen ist hier der Windgeschwindigkeitsbereich von weniger als 4 m/s interessant. Diese Schwingungen treten bei „idealglatten“ kreisrunden Profilen auf. Die resultierenden hochfrequenten Schwingungsfrequenzen liegen in einem Bereich von 5 bis 100 Hz und die Größen der Amplituden im Bereich des Seildurchmessers. Mögliche Folgen sind Dauerfestigkeitsprobleme aufgrund der vielen Biegewechsel (vgl. Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016).

2.5.3 Galloping

Aufgrund des unsymmetrischen Gesamtquerschnitts kann die Umströmung nicht mehr symmetrisch erfolgen und somit können sich die Ablösepunkte nicht mehr um das gleiche Maß an Ober- und Unterseite verschieben. Daraus entsteht eine unsymmetrische Druckverteilung, welche eine quer zu Windrichtung gerichtete Kraft erzeugt (Gilow, 2012, S. 21).

Auf Seilbahnen bezogen ist der Windgeschwindigkeitsbereich von 6 bis 25 m/s von Relevanz. Galloping tritt nur bei aerodynamisch instabilen Profilen, also nicht bei zylindrischen Profilen, auf. Daraus resultiert eine Mischung aus Torsions- und Biegeschwingungen. Die auftretenden niederfrequenten Schwingungsfrequenzen sind kleiner als 1 Hz und die Amplituden kleiner als der Seildurchhang. Die möglichen Folgen daraus sind eine Nichteinhaltung des Lichtraumes und große Kraftunterschiede an den Anbindepunkten (vgl. Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016).

In Abbildung 12 ist das Verhalten eines Kabelbündels während des Galloppings schematisch dargestellt.

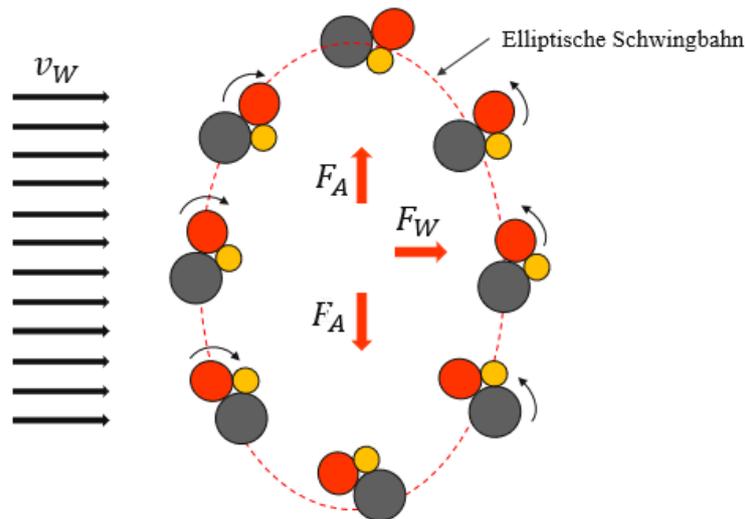


Abbildung 12: Schematische Darstellung des Verhaltens von Kabelbündel bei Galloping (Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016)

Laut DIN EN 1993-1-11 (2010-12, S. 29) kann Galloping bei Seilen mit kreisförmigen Querschnitten nicht auftreten, es kann jedoch in Erscheinung treten, wenn sich die Querschnittsgeometrie z.B. im Falle von Eisbehang oder Verschmutzung ändert.

2.5.4 Flattern

Beim Spiralseilflattern kann es bei Seiloberflächen, welche spiralförmig profiliert sind, zu selbsterregten Schwingungen in und quer zur Anströmrichtung kommen. Aufgrund der unterschiedlichen Anstellwinkel der Profilierung auf der Ober- und Unterseite ergeben sich verschiedene Ablösepunkte und somit schaukeln sich die Schwingungsamplituden auf. (vgl. Nahrath, 2003, S. 29)

2.5.5 Wind-Regen-induzierte Schwingungen

Bei den Wind-Regen-induzierten Schwingungen ist bei Seilbahnen der Windgeschwindigkeitsbereich von 10 bis 20 m/s interessant. Diese Schwingungen treten aufgrund von Rinnsalbewegungen auf glatten kreisrunden Profilen auf. Daraus resultieren eine Veränderung der Projektionsfläche und Strömungsabriss. Die auftretenden Schwingungen sind höherfrequent und die Amplituden sind kleiner als der zehnfache Seildurchmesser. Dies kann zu Dauerfestigkeitsproblemen aufgrund der hohen Anzahl an Biegewechseln führen (vgl. Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016).

2.5.6 Impulse infolge Eisabfall

„Bereichsweiser Eisabfall von Seilen kann zu plötzlich auftretenden Ungleichgewichten und großen Beschleunigungen führen. Zum Abbremsen einer solchen Bewegung werden große Kräfte benötigt, die den vorhandenen Werkstoffwiderstand oftmals

überschreiten, wenn nur die normalen Sicherheitsbeiwerte berücksichtigt waren“ (Feyrer, 1990, S. 33).

2.5.7 Maßnahmen zur Reduzierung von Seilschwingungen

Es ist zu erkennen, dass die auftretenden Schwingungsformen stark von der Form und der Oberfläche des Seiles abhängen. In Bezug auf das Profil der Seile treten hierbei bei aerodynamisch stabilen Profilen Kármán-Schwingungen auf. Im Gegensatz dazu tritt Galloping bei aerodynamisch instabilen Profilen auf. Bei der Oberfläche ist zu erwähnen, dass glatte Oberflächen aufgrund der Aufrechterhaltung der laminaren Grenzschicht schwingungsanfälliger sind als raue Oberflächen, da hier ein schneller Übergang von laminarer zu turbulenter Grenzschicht auftritt und deshalb ein chaotisches System entsteht (vgl. Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016).

Die Gefährdung infolge von Schwingungen steigt mit der Spannweite des Seiles. Kurze Spannweiten kleiner als 80 m stellen generell keine Gefährdung dar. Daher werden bei kurzen Spannweiten keine Dämpfer benötigt. Bei längeren Seilfeldern wird es empfohlen, den Einbau von Dämpfern vorzusehen (vgl. DIN EN 1993-1-11, 2010-12, S. 29).

Da Seile eine sehr geringe innere Dämpfung aufweisen, sind gerade lange Seile sehr schwingungsanfällig. Die Maßnahmen zur Reduzierung von Seilschwingungen sind laut DIN EN 1993-1-11 (2010-12, S. 30):

- Veränderung der Seiloberfläche (aerodynamische Kontur)
- Anbringen von Dämpfern oder
- Verwendung von Stabilisierungsseilen (z.B. Abspannseile mit geeigneten Anschlüssen)

Zur Reduktion von hochfrequenten Schwingungen mit kleinen Amplituden werden Schwingungsdämpfer, meist sogenannte Stockbridge-Dämpfer (siehe Abbildung 13) an definierten Positionen im Seilfeld eingesetzt. Die genaue Anzahl und Positionen müssen für jedes Seilfeld exakt bestimmt werden.

Der Stockbridge-Dämpfer besteht aus einem kurzen Seilstück mit beschwerten Enden und er wird parallel unter das Seil geklemmt. Durch die Schwingung des Seils wird der Dämpfer in Bewegung gesetzt. Die so in Bewegung geratenen beschwerten Seilstückenden zwingen das kurze Seilstück, mit dem sie verbunden sind, eine Wechselbiegung durchzuführen. Dadurch wird die zur Überwindung der inneren Seilreibung notwendige Energie dem schwingenden System entzogen und als Reibungswärme an die Umgebung abgegeben (vgl. Kopanakis & Kovacs, 2011).

Stockbridge-Dämpfer werden sehr häufig im Freileitungsbau eingesetzt.



Abbildung 13: Stockbridge Dämpfer (Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016)

Möglichkeiten zur Reduktion der Schwingungsanfälligkeit durch Galloping sind das Ändern der Geometrie des Seils und der Einsatz von sogenannten air flow spoilern (siehe Abbildung 14).

Die air flow spoiler wurden von der Firma Preformed Line Products entwickelt, um dem Phänomen des Galloping entgegenzuwirken. Je Seilfeld werden mehrere solcher air flow spoiler benötigt, um der aerodynamischen Auftriebskraft entgegenzuwirken. Diese Spoiler verhindern das Galloping, indem sie ein sich konstant änderndes aerodynamisches Profil erzeugen (vgl. Preformed Line Products, o. J., S. 4).

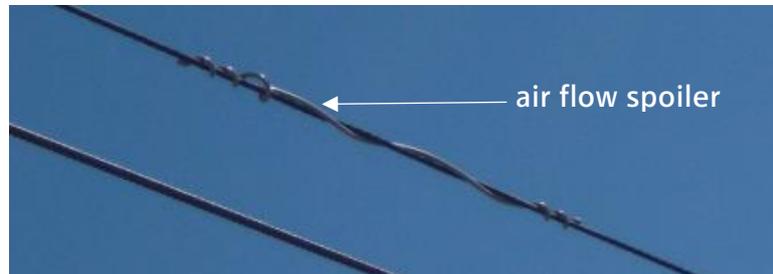


Abbildung 14: air flow spoiler (Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016)

In Abbildung 15 sind Methoden zur Reduzierung von Regen-Wind-induzierten Seilschwingungen dargestellt. Hierbei wird durch gezielte Oberflächenprofilierung der Seile die Bildung von Rinnsalen verhindert, sodass es nicht zu den Selbsterregungsprozessen der Regen-Wind-induzierten Schwingungen kommt. Die dargestellten Profilierungsformen (Längsrillen, Spiralerillen oder Noppen) haben sich als besonders wirksam herausgestellt. Wobei die Längsrillen zwar wirksam Regen-Wind-induzierte Schwingungen unterbinden, jedoch aufgrund der Profilform Schwingungen infolge Galloping hervorgerufen werden können. (vgl. Gilow, 2012, S. 28 f.).

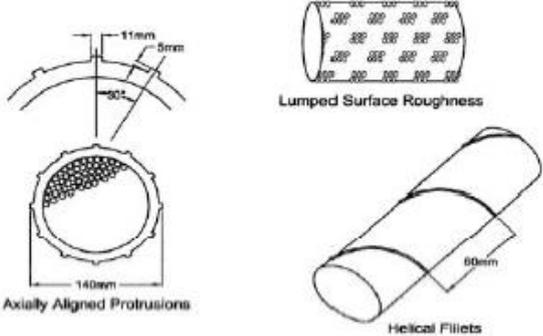


Abbildung 15: Veränderung der Seiloberfläche (Kumarasena, Jones, Irwin, & Taylor, 2007, S. 94)

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

3 Analyse des Istzustandes

Für die Analyse des Istzustandes wurden alle nicht in Österreich gebauten Einseilumlaufbahnen mit Lufthängekabel der Doppelmayr Seilbahnen GmbH im Zeitraum von 2012 bis 2017 betrachtet. Es wurden nur die nicht in Österreich liegenden Bahnen betrachtet, da Lufthängekabel in Österreich nur sehr selten eingesetzt werden. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 81 Einseilumlaufbahnen mit Lufthängekabel gebaut und hierbei kamen 1050 Seilschuhe zum Einsatz. Wobei die Anzahl der Seilschuhe je Bahn stark variieren kann. Bei der Bahn mit den wenigsten Seilschuhen werden nur zwei und bei der Bahn mit den meisten Seilschuhen werden 32 eingesetzt. Im Folgenden wird zuerst beschrieben, welche Arten von Lufthängekabeln zum Einsatz kommen. Dann werden die bisher verwendeten Armaturen beschrieben. Anschließend wird auf die möglichen auftretenden Belastungen auf das Lufthängekabel eingegangen und eine Anlagenanalyse durchgeführt. Darauf folgend wird eine Auswertung der auftretenden Belastungen gemacht, wobei mit den Werten aus der Anlagenanalyse die auftretenden Pressungen berechnet und mögliche problematische Fälle erläutert werden. Dann wird auf einen aufgetretenen Schadensfall eingegangen und das Versetzen des Seils beschrieben. Zum Abschluss wird eine Schwachstellenanalyse des bisher eingesetzten Systems durchgeführt.

3.1 Lufthängekabel

Das Lufthängekabel wird in unterschiedlichen Varianten ausgeführt. Bei der häufigsten Form handelt es sich um ein Kabelbündel. Andere Ausführungsformen sind das Setrakabel und spezielle Kabelformen der Hersteller. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Ausführungsformen erläutert.

Prinzipiell ist es so, dass zwischen den Stationen ein Lichtwellenleiter verläuft und von den Stationen zu jeder einzelnen Stütze je ein Kupferdraht hin- und zurückführt.

Über das Lufthängekabel werden Daten wie zum Beispiel die Daten von Windwächtern und des Rope Position Detection (RPD) Systems oder die Daten für Lautsprecher sowie die restlichen Daten, die zwischen den Stationen übertragen werden müssen, übertragen.

3.1.1 Kabelbündel

Der Großteil der momentan bei der Doppelmayr Seilbahnen GmbH verwendeten Lufthängekabel besteht aus einem Bündel von einem oder mehreren Seilen und Kabeln. Bei diesem System wird ein offenes Spiralseil als Träger- bzw. Halteseil verwendet und daran werden die Datenübertragungskabel und Lichtwellenleiter befestigt. Dabei

verlaufen das offene Spiralseil, die Datenübertragungskabel und die Lichtwellenleiter parallel. Damit sie zusammenhalten, werden sie mit einem Draht umwickelt. In Abbildung 16 ist der schematische Aufbau eines Kabelbündels bestehend aus einem Trägerseil, zwei Datenkabeln und dem Wickeldraht dargestellt.

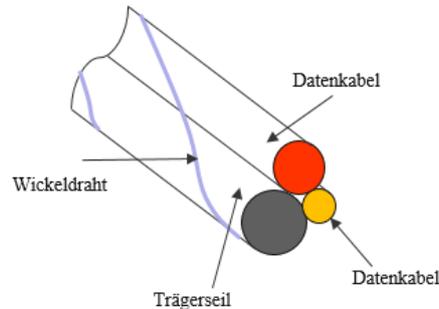


Abbildung 16: Schematische Darstellung des Kabelbündels (Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016)

Bei den im betrachteten Zeitraum eingesetzten Trägerseilen handelt es sich um Stahlseile mit Seilennendurchmessern von 10,5 bis 22 mm. In Tabelle 2 sind die unterschiedlichen verwendeten Trägerseile mit einigen technischen Daten aufgelistet, wobei sich das hier erwähnte spezifische Gewicht nur auf das Trägerseil bezieht. Das tatsächliche spezifische Gewicht des Lufthängekabels hängt zusätzlich noch von den eingesetzten Kabeln ab.

Nummerierung	Konstruktions- typ	Seilenn- durchmesser	Spezifisches Gewicht	Querschnitt	E-Modul	Nennfestigkeit	Bruchkraft
		mm	kg/m	mm ²	kN/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	1x19	10,5	0,57	69	145	1770	111
2	1x19	12,5	0,77	94	160	1570	136
3	1x19	14	0,98	117,9	100	1960	203
4	1x19	16	1,27	154	160	1570	223
5	1x19	16	1,27	154	160	1860	264
6	1x19	18	1,6	195	140	1860	334
7	1x19	18	1,6	195	140	1960	352
8	1x19	18	1,6	195	140	1570	282
9	1x19	20	1,98	241	140	2060	457
10	1x19	20	1,98	241	140	1960	435
11	1x37	22	2,37	290	140	1770	494
12	1x37	22	2,37	290	145	1860	485
13	1x37	22	2,37	290	140	1960	494
14	1x37	22	2,37	290	140	2060	485

Tabelle 2: verwendete Trägerseile

Beim Kabelbündel verläuft nur das Trägerseil über den Seilschuh. Die Kabel zur Datenübertragung werden vor den Stützen vom Trägerseil getrennt und dahinter wieder mit dem Trägerseil zusammengeführt.

3.1.2 Setrakabel

Bis vor einigen Jahren kam das sogenannte Setrakabel zum Einsatz. Dieses Leitungskabel besteht aus einem Trägerseil aus Stahl, welches mit einem isolierten, geschmierten Kupferfernmeldekabel mit PE ummantelt wird.

3.1.3 Spezialkabel mit integriertem Lichtwellenleiter

Des Weiteren können Spezialkabel mit innenliegendem Lichtwellenleiter zum Einsatz kommen. Diese Seile sind prinzipiell gleich aufgebaut wie die oben erwähnten Spiralseile. Der Unterschied besteht darin, dass ein Innendraht durch einen Lichtwellenleiter ersetzt wird. Dadurch sinken aber die maximal zulässige Flächenpressung und Bruchkraft des Seils.

3.2 Armaturen auf Stützen

Die Abstützung des Lufthängekabels entlang der Strecke erfolgt mittels Kunststoffgleitschuhen auf den Stützenkonstruktionen. Im Folgenden werden die unterschiedlichen verwendeten Standardgleitschuhe der Doppelmayr Seilbahnen GmbH erläutert.

3.2.1 Gleitschuh für Einseilumlaufbahnen

Die Gleitschuhe für Einseilumlaufbahnen, die momentan im Einsatz sind, bestehen aus Schweißkonstruktionen und Kunststoffeinteilen, auf welchen das Seil aufliegt.

Es wird zwischen einem Tragschuh ohne Klemmvorrichtung, siehe Abbildung 17 (a), einem Tragschuh mit Klemmvorrichtung und Positionsüberwachung (b), einem Kombi-Gleitschuh (c) und einem Gleitschuh für den Niederhalteeinsatz (d) unterschieden. Ab einer Seilfeldlänge von 400 m wird das Seil auf den Stützen zusätzlich mit einer Schraubklemme geklemmt. Diese Schraubklemme soll ein zu starkes Verschieben des Seiles in die angrenzenden Seilfeldern verhindern. Dies kann der Fall sein, wenn die beiden anliegenden Seilfelder mit Eis behangen sind und es zu einem plötzlichen einseitigen Lösen des Eises kommt. In diesem Fall soll die Schraubklemme wie eine Bremse wirken und eine zu starke Bewegung des Seils in Seilrichtung verhindern.

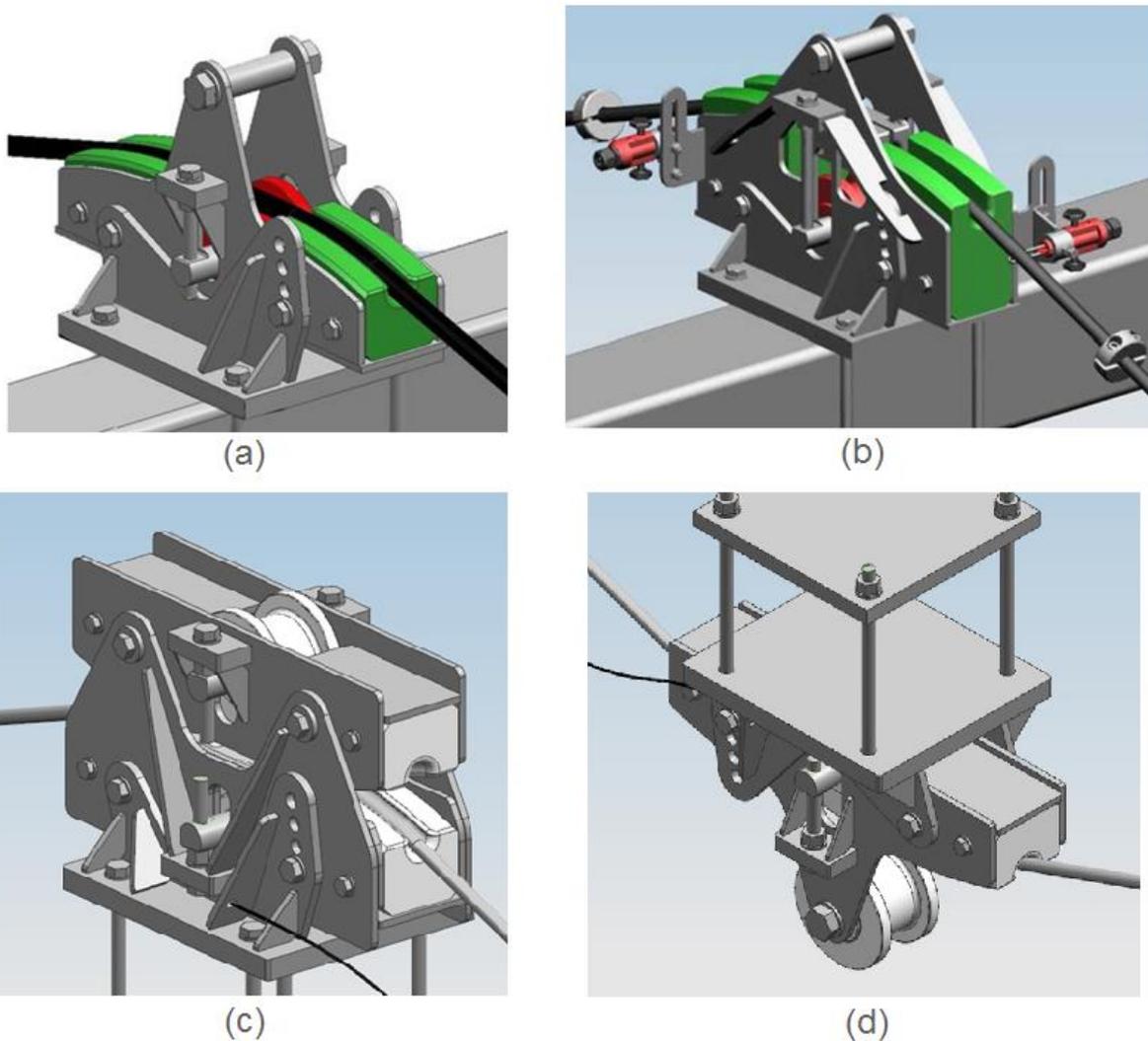


Abbildung 17: Ausführungen des bisherigen Seilschuhs: Tragseilschuh (a), Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung (b), Kombiausführung (c) und Niederhalteausführung (d)

Bei allen Varianten befindet sich in der Mitte eine Montagerolle. Diese Montagerolle wird für das Einziehen des Seils, im Folgenden auch als Seilzug bezeichnet, ausgefahren und somit kann das Seil bei der Montage über diese Rolle gezogen werden.

Eine weitere Funktion des Gleitschuhs ist die Möglichkeit, die Neigung stufenweise von 0° auf 15° einstellen zu können.

3.2.2 Gleitschuh Garaventa

Bei der Firma Garaventa kommt für alle Lufthängekabel die gleiche Ausführung des Seilschuhs zum Einsatz. Dieser Seilschuh ist in Abbildung 18 dargestellt. Auch dieser Seilschuh besteht aus einer Schweißkonstruktion, in der Kunststoffeinlagen verbaut sind, auf welchen wiederum das Seil aufliegt. Des Weiteren besitzt diese Ausführung eine Positionsüberwachungseinheit.

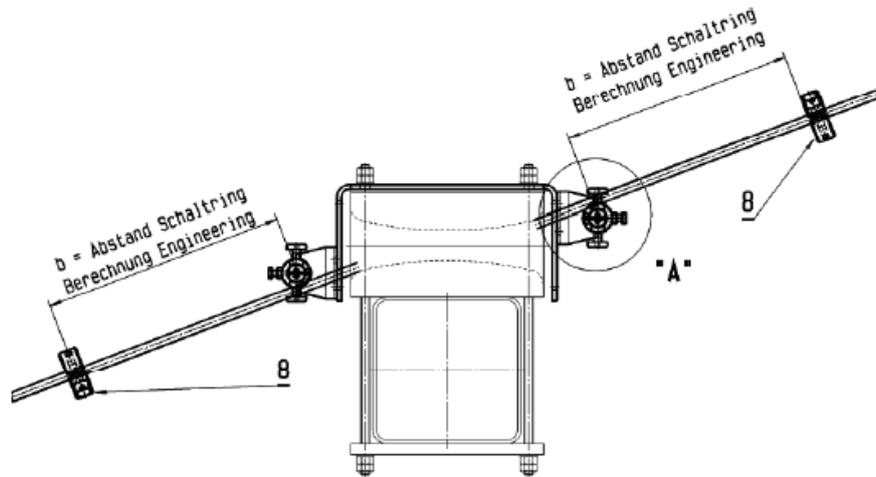


Abbildung 18: Gleitschuh Garaventa

3.2.3 Umlenkschuh 3S

Für 3S-Bahnen wird im Allgemeinen der in Abbildung 19 dargestellte Gleitschuh verwendet. Auch diese Konstruktion besteht wie die anderen Gleitschuhe aus einer Schweißkonstruktion, in die eine Kunststoffeinlage gelegt und fixiert wird. Hier ist jedoch die Rillenform etwas anders. Wie zu sehen ist, öffnet sich die Rillenform im Einlaufbereich ähnlich einer Trompete. Die Trompetenform soll eine seitliche Bewegung des Seils ermöglichen, ohne dass es zu einem Knicken oder einer zu starken Biegung des Seils kommt. Der Nachteil der Trompetenform ist, dass zwischen Seil und Rille nur eine kleine Kontaktfläche entsteht und es somit zu sehr hohen Pressungen kommen kann.

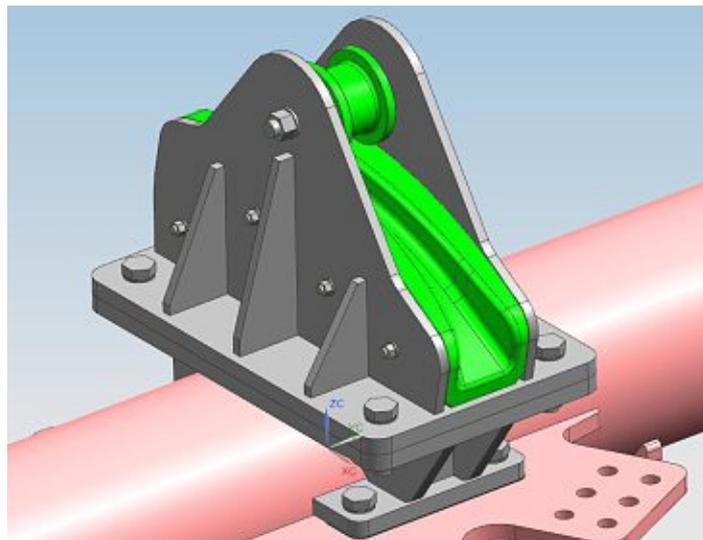


Abbildung 19: Gleitschuh 3S

3.3 Belastungen auf das Lufthängekabel

Die auftretenden Belastungen auf das Lufthängekabel bei Seilbahnen stammen zum einen von der Dynamik der Streckenbauwerke und zum anderen von den Witterungseinflüssen. Bei den Witterungseinflüssen ist hier ein besonderes Augenmerk auf aerodynamische Einflüsse, siehe Kapitel 2.5, Temperaturänderungen und andere Witterungseinflüsse wie Eis, Schnee, Blitzschlag oder Regen zu legen. Ein Extremfall von Eisbehang ist in Abbildung 20 zu sehen. Hier ist das Lufthängekabel komplett mit Eis behangen.



Abbildung 20: Eisbehang am Lufthängekabel und an den Stützen

Für die Lufthängekabel ist der Aufstellungsort ebenfalls von Bedeutung. Hier spielt besonders die Geländerauigkeit, welche einen Einfluss auf die Windwirkung hat, einen großen Einfluss. Je rauer das Gelände ist, desto turbulenter und langsamer sind die Windströmungen (vgl. Kießling, Nefzger, & Kaintzyk, 2001, S. 150). Liegt der Aufstellungsort zum Beispiel am Meer, so sind die aerodynamischen Einflüsse eher laminarer Natur und der Verschleiß durch Sand oder Salz spielt eine größere Rolle. Liegt der Aufstellungsort hingegen in den Bergen, so sind die aerodynamischen Einflüsse eher turbulenter Natur.

Für die Auslegung der Lufthängekabel werden unterschiedliche Kombinationen von Witterungseinflüssen betrachtet.

3.4 Anlagenanalyse

Für die Anlagenanalyse wurden nur Lufthängekabel in Bündelform betrachtet, da diese am häufigsten für das Lufthängekabel eingesetzt werden. Des Weiteren wurden nur Bahnen mit einem Trägerseilennendurchmesser des Lufthängekabels von 16 bis 22 mm betrachtet. Die kleineren Seildurchmesser wurden im betrachteten Zeitraum nur an je einer Bahn verbaut und sind deshalb nicht repräsentativ. Die Anlagenanalyse soll einen Überblick über die zwischen 2012 und 2017 eingesetzten Seile, die Abmessungen, die auftretenden Kräfte und die unterschiedlichen Ausführungsformen in Bezug auf das Lufthängekabel geben.

Abbildung 21 stellt die Anzahl der Bahnen je Seildurchmesser und Jahr dar. Im betrachteten Zeitraum ist das Jahr 2016 das Jahr mit den meisten gebauten Seilbahnen mit Lufthängekabeln. In diesem Jahr wurden sehr viele Bahnen mit einem Trägerseildurchmesser von 16 mm gebaut. Seile mit einem Nenndurchmesser von 16 mm sind im betrachteten Zeitraum die am häufigsten verwendeten Trägerseile für Lufthängekabel, darauf folgen die Trägerseile mit den Nenndurchmessern von 22, 18 und 20 mm.

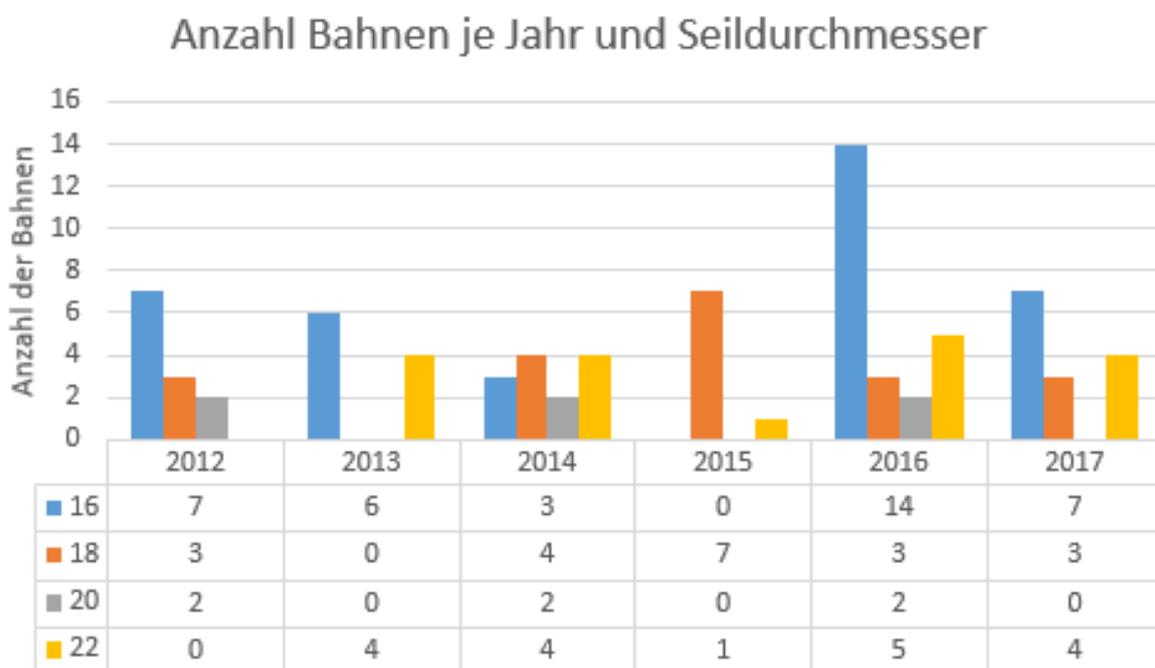


Abbildung 21: Anzahl der Bahnen je Jahr und Seildurchmesser

In Abbildung 22 sind die Mittel-, Maximal- und Minimalwerte der schrägen Seilfeldlängen je Seildurchmesser dargestellt. Der Maximalwert der schrägen Länge betrug im betrachteten Zeitraum 874,4 m. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Seildurchmesser mit steigenden maximalen Seilfeldlängen und deren Mittelwerten ansteigen.

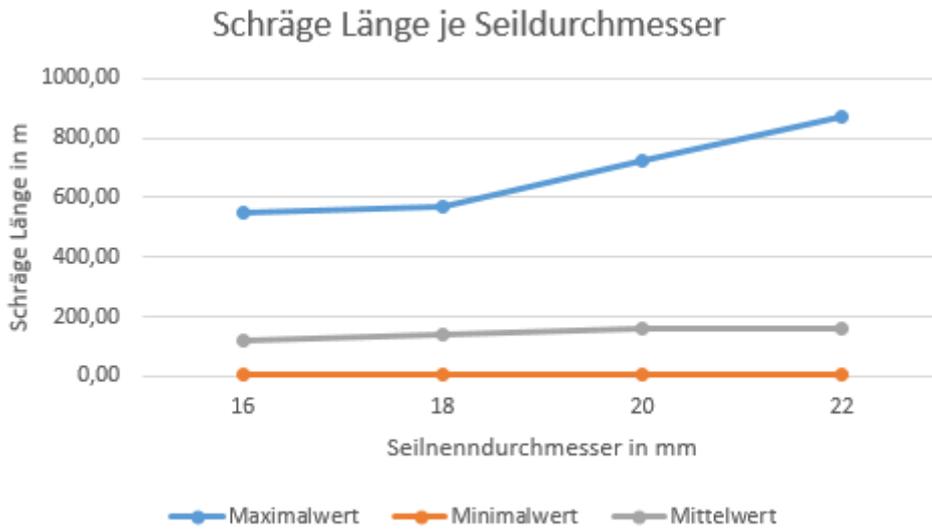


Abbildung 22: Schräge Länge je Seildurchmesser

In Bezug auf den Seilverlauf und die auftretenden Seilwinkel, kann keine allgemeine Aussage getroffen werden, da die Seilwinkel stark vom Einsatzort der Seilbahn abhängen. Bei Bergbahnen treten z.B. eher größere Seilwinkel als bei flachen Bahnen auf. Der Seilverlauf hängt stark von der Topografie des Geländes ab. Die Maximalwerte für den Seilwinkel lagen im betrachteten Zeitraum zwischen $-23,63$ und $39,56^\circ$.

Abbildung 23 dient zur Erläuterung der in der Seilrechnung auftretenden Kräfte und Winkel. Hierbei lassen sich die Stützendruckkraft D_i und der zugehörige Stützendruckwinkel Ψ_i zufolge der Seilkräfte S_{it} und S_{ib} mit den zugehörigen Seilwinkeln φ_{it} und φ_{ib} gegenüber der Horizontalen nach Sedivy (2012, S. 72) mit den Formeln (16) und (17) berechnen. Der Index i steht hierbei für die Stütze i und die Indizes it und ib stehen für die Tal- und Bergseite.

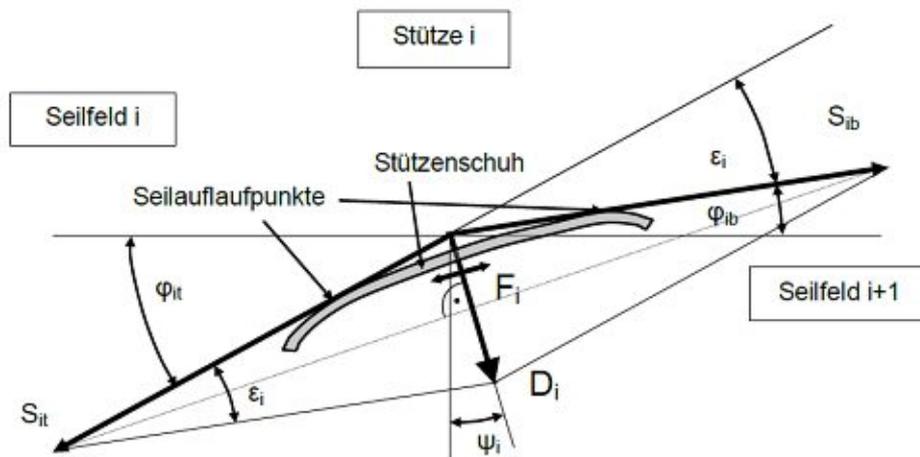


Abbildung 23: Stützenlast zufolge der Seilspankräfte (Sedivy, 2012, S. 72)

$$\varepsilon_i = \varphi_{it} - \varphi_{ib} \quad (15)$$

$$D_i = 2S_i \cdot \sin\left(\frac{\varepsilon_i}{2}\right) \quad (16)$$

$$\Psi_i = \frac{\varphi_{ib} + \varphi_{it}}{2} \quad (17)$$

In Abbildung 24 sind die Verläufe der Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Stützendruckkräfte über die Jahre zu sehen. Im betrachteten Zeitraum sind die Maximalwerte der Stützendruckkräfte gestiegen und sie erreichten im Jahr 2017 ein Maximum. Die Maximalwerte der Stützendruckkräfte liegen zwischen 41,69 und 67,34 kN. Wobei im Allgemeinen gesagt werden kann, dass die Maximalwerte mit steigenden Seildurchmessern ebenfalls steigen. Die Mittelwerte liegen in einem Bereich von 12,98 bis 18,66 kN und die Minimalwerte in einem Bereich von 0,36 bis 2,71 kN. Es ist zu erkennen, dass zwischen den Minimal- und Maximalwerten große Unterschiede bestehen.

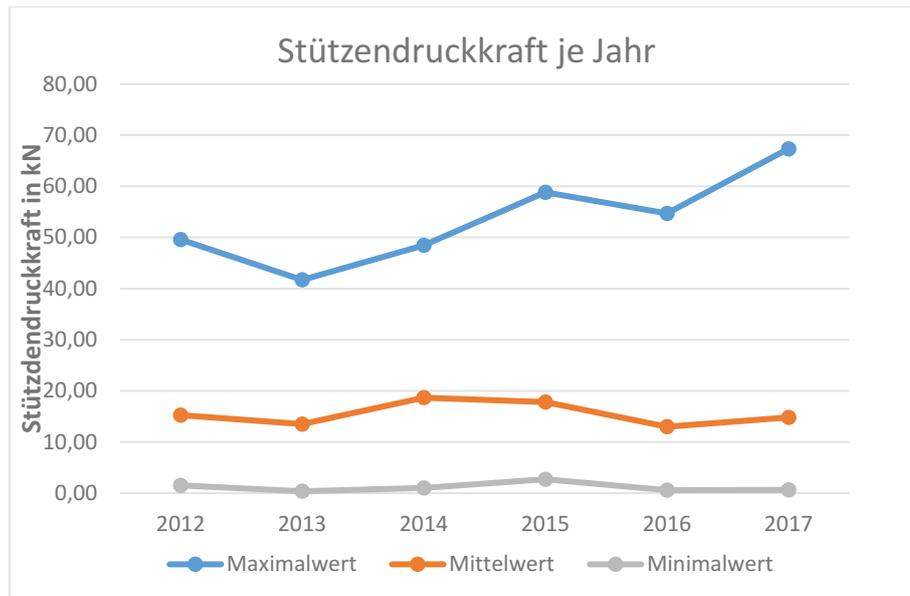


Abbildung 24. Verlauf der Stützendruckkräfte über die Jahre

In Tabelle 3 sind die Maximalwerte der Seilkraft und der Stützendruckkraft für die unterschiedlichen Seilnenndurchmesser dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sowohl die Seilkraft als auch die Stützendruckkraft, bis auf eine Ausnahme bei einem Seilnenndurchmesser von 20 mm, mit steigendem Seilnenndurchmesser zunehmen. Die hohen Seilspannkraften sind nötig, da es bei niedrigen Seilspannkraften zu unzulässiger Freigängigkeit zwischen dem Lufthängekabel und den angrenzenden Bauteilen oder Bauwerken, wie zum Beispiel dem Tragseil oder den Blitzschutzseilen kommen kann.

Seilnenndurchmesser	Seilkraft	Stützendruckkraft
mm	kN	kN
16	114,83	35,30
18	156,19	54,91
20	200,33	49,57
22	230,41	67,34

Tabelle 3: Maximalwerte der Seilkraft und der Stützendruckkraft je Seilnenndurchmesser

Tabelle 4 stellt die Anzahl der im betrachteten Zeitraum eingesetzten Seilschuhe nach den unterschiedlichen Ausführungsformen und Seildurchmessern dar. Es ist zu erkennen, dass der Großteil der eingesetzten Seilschuhe entweder Trag- oder Niederhalteausführungen sind, gefolgt von den Kombiausführungen. Bei der geklemmten Ausführung handelt es sich um nur 4% der eingesetzten Seilschuhe. Fast die Hälfte aller verwendeten Seilschuhe wurden für Trägerseile mit einem Seilnenndurchmesser von 16 mm eingesetzt.

	Standard (TR und NH)	Kombi- ausführung	Geklemmte Ausführung	Summe	Prozent
Ø16	406	93	2	501	47,7%
Ø18	214	54	12	280	26,7%
Ø20	57	16	5	78	7,4%
Ø22	122	46	23	191	18,2%
Summe	789	209	42	1050	
Prozent	76,1%	19,9%	4%		

Tabelle 4: Eingesetzte Seilschuhe (TR Tragausführung, NH Niederhalteausführung)

Prinzipiell kann gesagt werden, dass die in der Einleitung erwähnte Tendenz nach immer länger werdenden Seilfeldern und den daraus resultierenden größer werdenden Belastungen in der Anlagenanalyse erkennbar ist. Dies gilt zwar nicht für jedes aufeinanderfolgende Jahr, über den gesamten betrachteten Zeitraum ist dies aber sehr wohl zu erkennen.

3.5 Berechnung und Analyse der Pressungen

Mit den Werten aus der Anlagenanalyse und den in Kapitel 2.4 beschriebenen Formeln zur Berechnung der Pressung wurden die auftretenden Pressungen nach Formel (14) der Fatzer AG (p_f) und Formel (10) der Hertz'schen Pressung (p_{hertz}) für parallele Zylinder berechnet. Von den in Kapitel 2.4 beschriebenen Formeln zur Berechnung der Pressung wurden diese zwei ausgewählt, da Formel (14) von einem Seilhersteller angegeben wurde und Formel (10) die einzige Formel ist, bei der sowohl die Unterschiede von Seil- und Rillendurchmesser sowie der E-Moduli einfließen, welche bei den verwendeten Gleitschuhen nicht vernachlässigt werden dürfen.

Für die Analyse der auftretenden Belastungen wurden die maximalen Stützendruckkräfte und Seilzugkräfte aus der Anlagenanalyse mit den zugehörigen Winkeln ausgewertet. Die Analyse erfolgte für die gesamten 1050 Seilschuhe, deren Daten zum Teil schon in der Anlagenanalyse erläutert wurden.

In Abbildung 25 ist eine Skizze dargestellt, um die auftretenden Größen für die Berechnung der Pressungen zu erläutern. Bei dem Stützenwinkel SW handelt es sich um die Neigung der Stütze zur vertikalen Achse und beim Winkel EW um den sogenannten Einstellwinkel des Gleitschuhs. Dies ist der Winkel, mit dem der Seilschuh auf der Stütze montiert wird. Der Einstellwinkel wird so gewählt, dass die Summe aus Einstellwinkel und Stützenwinkel möglichst nahe an den Winkel PSI der Stützendruckkraft D kommt.

Des Weiteren sind noch die Winkel ϕ_1 und ϕ_2 wichtig, respektive deren mit SW und EW korrigierten Werte ϕ_1^* und ϕ_2^* , da mit diesen Werten und dem Rillengrundradius R die Auflagelänge L des Seils auf dem Gleitschuh berechnet werden kann. Die Auflagelänge kann mit folgender Formel berechnet werden. Je nach Lastfall ergeben sich unterschiedliche Ein- und Auslaufwinkel sowie Kräfte.

$$L = \phi_1^* \cdot R + \phi_2^* \cdot R \quad (18)$$

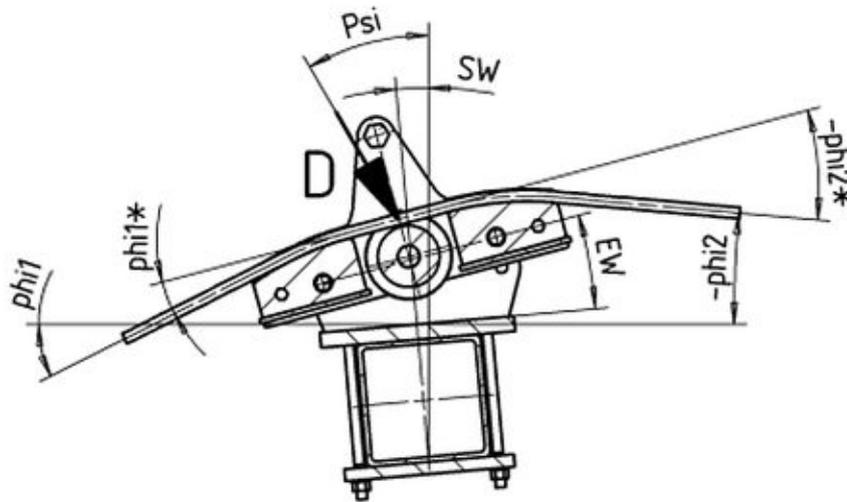


Abbildung 25: Lastskizze

Der zur Berechnung herangezogene Seilschuh besitzt eine Kunststoffeinlage mit einem Rillengrunddurchmesser von 1000 mm und einer Rille mit einem Durchmesser von 28 mm. Es ist zu erkennen, dass der Unterschied zwischen Rillendurchmesser und den Seildurchmessern sehr groß ist. In Abbildung 29 sind die Querschnitte der Kunststoffeinlage und der Seile mit einem Nenndurchmesser von 16 und 22 mm dargestellt. Prinzipiell kann gesagt werden, dass die größten Pressungen im Rillengrund zu erwarten sind.

In Tabelle 5 und Tabelle 6 sind die Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der berechneten Pressungen zu sehen. Die rot hinterlegten Werte weisen eine Pressung höher als 100 N/mm² und die gelb hinterlegten Werte eine Pressung höher als 60 N/mm² auf. Diese zwei Werte entsprechen den maximal zulässigen Pressungen für offene Spiralseile und offene Spiralseile mit innenliegendem Lichtwellenleiter.

Bei der Formel zur Berechnung der Pressung nach der Fatzer AG handelt es sich um eine lineare Formel, bei der für alle Seildurchmesser mit dem gleichen Abminderungsfaktor gerechnet wird.

Vergleicht man die Ergebnisse, ist zu erkennen, dass mit der Formel der Fatzer AG (14) höhere Maximalwerte als mit der Formel nach Hertz (10) berechnet wurden. Die Minimalwerte hingegen sind viel kleiner als die Minimalwerte nach Hertz.

Beide Formeln liefern maximale Pressungen, die höher als die vorgeschriebenen 100 N/mm² für die eingesetzten Seile sind. Da die Werte zum Teil sehr viel höher liegen, als die angegebenen Grenzwerte und da bei diesen Bahnen keine bekannten Schadensfälle aufgetreten sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Formeln für den verwendeten Zweck zu hohe Maximalwerte liefern. Insgesamt ergaben sich durch die Berechnung mit der Formel der Fatzer AG 54 Fälle und mit der Formel nach Hertz 42 Fälle mit einer Pressung höher als 100 N/mm². Die Berechnung nach Fatzer ergab mehr Werte über dem vorgeschriebenen Maximalwert für große Seildurchmesser und die Berechnung nach Hertz mehr höhere Werte bei den kleinen Seildurchmessern. In Bezug auf die Mittelwerte ist zu erkennen, dass die Mittelwerte, die mit der Formel der Fatzer AG berechnet wurden, für die Seildurchmesser von 16 bis 20 mm kleiner sind als die Mittelwerte, die nach der Formel von Hertz berechnet wurden. Beim Seil mit einem Durchmesser von 22 mm ist hingegen der Mittelwert nach Fatzer größer als der Mittelwert nach Hertz. Es ist auch zu erkennen, dass bei den Werten in Tabelle 5 außer für das Trägerseil mit einem Nenndurchmesser von 22 mm höhere Werte für die Standardabweichung berechnet wurden als in Tabelle 6.

Da beide Formeln Werte für die Pressungen liefern, die höher als die vorgeschriebenen Grenzwerte sind und die Mittelwerte auch in einem erhöhten Bereich liegen, sollte für die neue Lösungen angestrebt werden, die Pressungen so gering wie möglich zu halten.

	Ø16	Ø18	Ø20	Ø22
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
Maximalwert	183,09	154,38	162,38	171,66
Minimalwert	0,19	3,25	2,07	3,26
Mittelwert	54,47	68,38	76,13	68,47
Standardabweichung	22,22	24,36	30,93	16,8

Tabelle 5: Pressungen nach der Formel der Fatzer AG

	Ø16	Ø18	Ø20	Ø22
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
Maximalwert	148,63	125,34	114,97	102,38
Minimalwert	9,23	18,20	12,99	14,11
Mittelwert	78,76	81,67	76,66	62,45
Standardabweichung	19,56	17,02	18,04	17,91

Tabelle 6: Pressungen nach Hertz für parallele Zylinder

Des Weiteren ist zu erkennen, dass die berechneten Maximalwerte der Pressungen mit der Formel von Hertz für parallele Zylinder mit steigendem Seildurchmesser abnehmen. Die Maximalwerte aus Tabelle 5 sind zwischen 23,2 bis 67,7 % größer als die

Maximalwerte aus Tabelle 6. In Abbildung 26 sind die maximal berechneten Pressungen je Seildurchmesser für die zwei Formeln im Vergleich dargestellt.

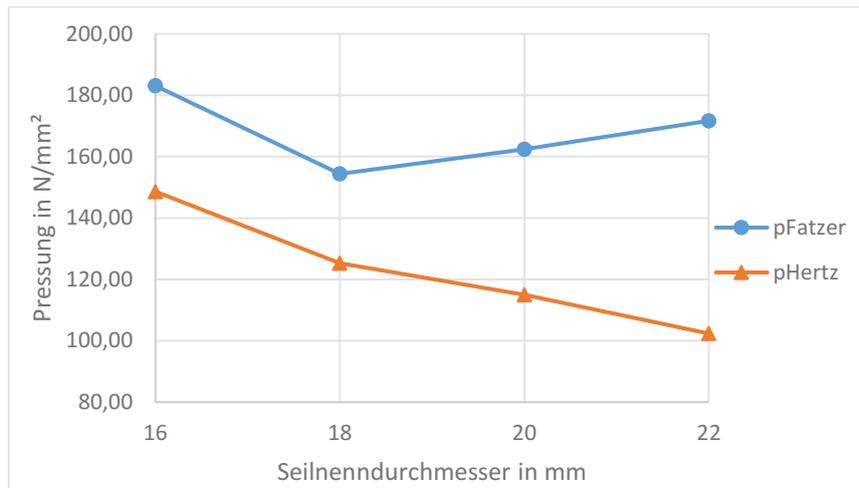


Abbildung 26: Vergleich der Maximalwerte der Pressungen nach Fatzer und Hertz für die einzelnen Seilennendurchmesser

Als problematische Fälle haben sich zum einen Lastfälle mit sehr großen Kräften und zum anderen Lastfälle mit sehr kleinen Ablenkwinkeln herausgestellt. Bei zweitgenannten kommt es bei relativ geringen Kräften zum Teil zu sehr hohen Pressungen, da die berechnete Auflagelänge und somit auch die Kontaktfläche nur sehr klein sind. In Abbildung 27 sind zwei Seilverläufe dargestellt. Zum einen handelt es sich um einen Seilverlauf mit sehr kleinen Ablenkwinkeln und zum anderen um einen Seilverlauf mit größeren Ablenkwinkeln. Es ist zu erkennen, dass die Auflagelänge im linken Fall sehr viel kleiner als im rechten Fall ist und es hier zu fast keinem Kontakt zwischen dem Seil und der Rille kommt.

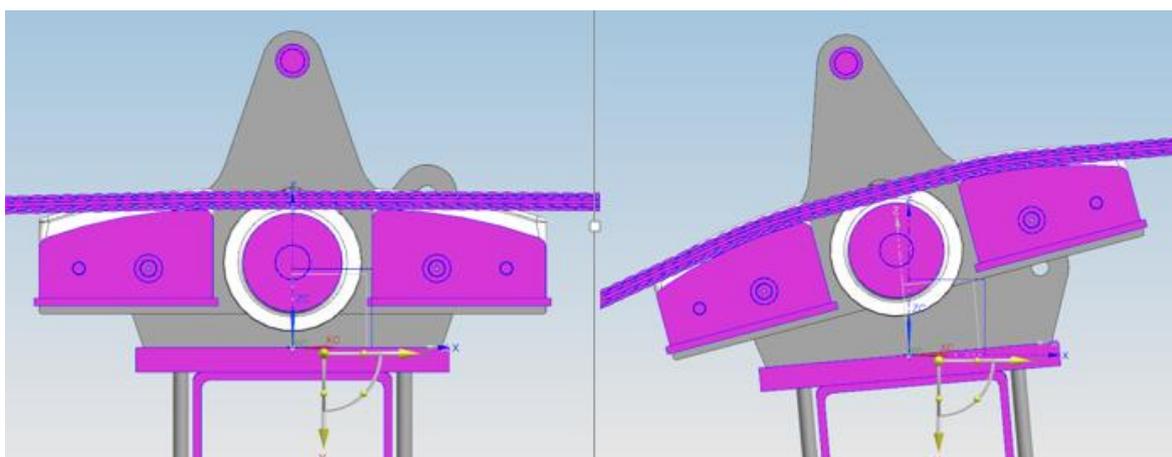


Abbildung 27: Unterschiedliche Seilverläufe

3.6 Aufgetretener Schadensfall

Ein protokollierter Schadensfall ist in Abbildung 28 zu sehen. Bei diesem Schadensfall sind zwei Einzeldrahtbrüche bei einem offenen Spiralseil mit innenliegendem

Lichtwellenleiter aufgetreten, wobei sich der eine Drahtbruch in der äußersten Lage und der andere Drahtbruch in der darunterliegenden Lage befanden. Des Weiteren sind leichte Abriebspuren aufgrund der Seilreibung aufgetreten. Laut Schadensbericht war der Grund dieses Einzelbruches mit hoher Wahrscheinlichkeit eine örtlich zu hohe Druckbelastung des Seils, welche bei den aufgetretenen SeilSchwingungen einen Schwingungsrisss starten ließen und schließlich zum Versagen führte.

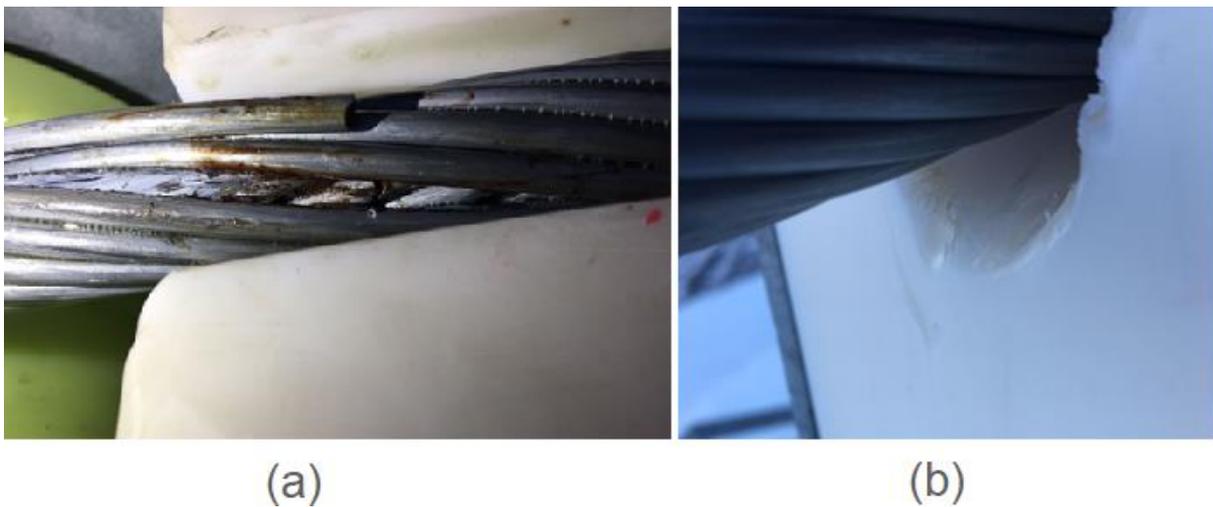


Abbildung 28: Drahtriss (a) und Seileinlauf (b)

3.7 Versetzen

Aufgrund der hohen Belastungen des oben genannten Schadensfalles und um die Lebensdauer des Lufthängekabels bzw. dessen Trägerseils zu verlängern, wurde beschlossen, die Lufthängekabel zumindest alle 4 Jahre, oder wenn dies zufolge einer Überprüfung notwendig ist, zu versetzen. Hierbei wird das Seil zumindest um die aufliegende Länge in Seilrichtung verschoben, damit der Kontakt zwischen Seil und Auflage über eine bisher unbelastete Fläche erfolgt.

„Vom Versetzen des Lufthängekabels kann abgesehen werden oder ein anderes Versetzintervall ist zulässig, wenn dies vom Hersteller des Seils oder einer autorisierten Anstalt bestätigt wird. In der Bestätigung müssen Aussagen über die weiteren Untersuchungs- und Instandhaltungsintervalle enthalten sein“ (Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2018, S. 42).

Nach DIN EN 12927 (2017-07, S. 46) muss das Versetzen von Steuerseilen in Betracht gezogen werden, um ein Versagen aufgrund von Ermüdung zu vermeiden. Ein Versetzungsintervall wird jedoch nicht angegeben.

3.8 Schwachstellenanalyse der bisher eingesetzten Seilschuhe

Eine Schwachstellenanalyse des bisher verwendeten Seilschuhs ergab, dass die nicht an den Seildurchmesser angepasste Rille dazu führt, dass nur ein sehr kleiner Teil des Seils quer zur Achse mit der Kunststoffeinlage in Berührung steht. Dies kann zu sehr hohen Pressungen führen (Abbildung 29), wobei hier das Seil in der Rille aufliegt ohne, dass sich diese verformt. In der Realität kann davon ausgegangen werden, dass sich das Seil in der Kunststoffeinlage einbettet. Erfahrungswerte der Doppelmayr Seilbahnen GmbH und Fatzer AG geben hier eine Einbettung von ca. 0,3 bis 0,4 mm an. Die Berechnung ergab ähnliche Werte.

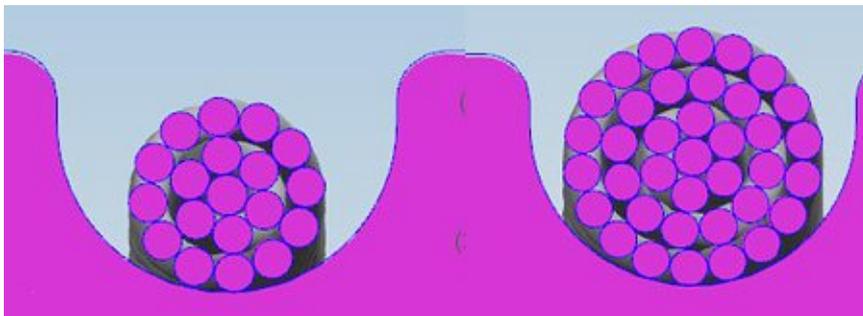


Abbildung 29: Unterschiedliche Seildurchmesser in bisheriger Rille

Des Weiteren wird aufgrund der Seilwinkel in den meisten Fällen nur ein kleiner Teil der zur Verfügung stehenden Auflagelänge benutzt. Dies kann bei kleinen Seilwinkeln zu hohen Pressungen führen. Eine andere sich ergebene Schwachstelle sind die kleinen Radien im Einlaufbereich vom freien Seilfeld in den Seilschuh, welche zu starken Biegespannungen des Seils führen können.

4 Klären der Anforderungen

Um die Anforderungsliste zu erstellen, wurde allgemein wie in Pahl & Beitz (2005, S. 187-196) beschrieben vorgegangen. In Abbildung 30 sind die Hauptarbeitsschritte zum Aufstellen der Anforderungsliste dargestellt. Aufgrund der gegebenen Problemstellung wurden aber nicht alle Punkte ausgeführt.

Zum Erarbeiten der Anforderungen wurden zuerst offensichtliche Anforderungen definiert und dokumentiert. Diese Anforderungen wurden im Weiteren mit Hilfe entsprechender Methoden, wie z.B. dem Arbeiten nach einer Leitlinie mit einer Hauptmerkmalliste und der Szenariotechnik ergänzt und spezifiziert. In der Szenariotechnik wird das gesamte Produktleben in Bezug auf das, was mit dem Produkt passieren kann und wie es darauf reagieren soll, durchdacht, um mögliche weitere Anforderungen zu erarbeiten. Zusätzliche Anforderungen wurden noch mit dem Problemfragebogen erarbeitet.

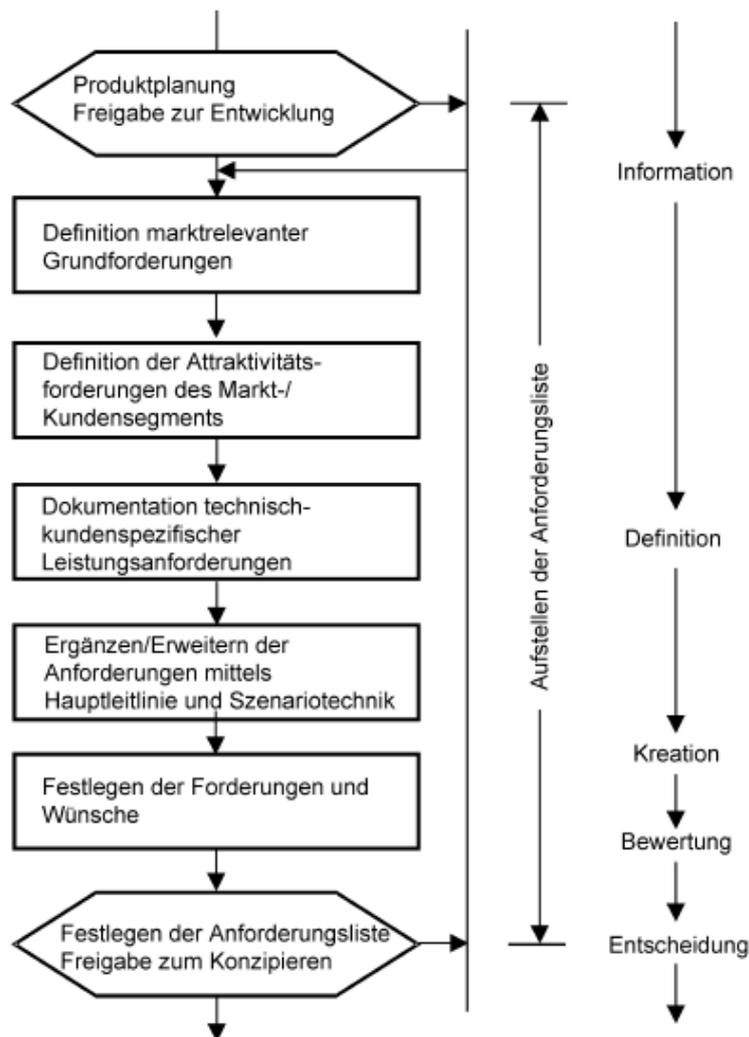


Abbildung 30: Hauptarbeitsschritte zum Aufstellen der Anforderungsliste (Pahl & Beitz, 2005, S. 188)

4.1 Anforderungsliste

Die Anforderungen stammen zum größten Teil von der Doppelmayr Seilbahnen GmbH. Es wurden aber auch Anforderungen der Seilhersteller sowie Anforderungen aus Normen, wie zum Beispiel der DIN EN 12927, eingebracht. Die so zusammengetragenen Anforderungen wurden mithilfe der Hauptmerkmaliste geordnet und ergänzt. In einem letzten Schritt wurden die Anforderungen in Forderungen F und Wünsche W aufgeteilt. Die Forderungen müssen erfüllt werden, da die Lösung sonst den Anforderungen nicht entspricht, wohingegen die Wünsche unter einem begrenzten Mehraufwand nach Möglichkeit berücksichtigt werden sollen, da sie einen zusätzlichen Nutzen darstellen. In Tabelle 7 ist die Anforderungsliste für die Entwicklung von Armaturen für das Datenübertragungskabel auf Seilbahnstützen zu sehen. Diese Anforderungsliste soll dazu dienen, das gewünschte Produkt entwickeln und die Lösung bewerten zu können. Im Folgenden werden noch einige wichtig erscheinende Anforderungen sowie Anforderungen, die erklärungsbedürftig sind, beschrieben.

Unter dem D/d -Verhältnis versteht man das Verhältnis von einer Seilscheibe mit Durchmesser D zu einem Seil mit Durchmesser d . Dieses D/d -Verhältnis soll für offene Spiralseile (OSS) mindestens 40 und für offene Spiralseile mit innenliegendem Lichtwellenleiter (OSS mit LWL) mindestens 65 betragen. Für die Rillenform ist eine an den theoretischen Seildurchmesser angepasste Rille gefordert. Der Rillendurchmesser soll in einem Bereich von plus ein bis plus vier Prozent gegenüber dem theoretischen Seildurchmesser liegen. Unter dem theoretischen Durchmesser versteht man die Summe der Einzeldrähte einer Diagonalen.

Die neue Armatur muss für Seileinlauf- und Seilauslaufwinkel von -20° bis 20° erarbeitet werden. Zusätzlich muss eine Anpassung an den Seilverlauf in einem Bereich von -15° bis 15° möglich sein. Ab einer Seilfeldlänge von 400 m ist eine Sicherung gegen ein zu starkes Rutschen erforderlich.

Werden Klemmen benötigt müssen diese eine Rille aufweisen, die in einem Bereich von $+3,5$ bis $+5$ % auf den Seilennendurchmesser liegt.

Für die Werkstoffauswahl soll für die Bereiche, mit denen das Seil in Berührung kommt, ein Kunststoff gewählt werden. Hier wird PA6G bevorzugt, für die restlichen Bauteile soll wenn möglich der Baustahl S355 vorgesehen werden.

Eine weitere Funktion, die die Lösung aufweisen muss, ist die Überwachung eines zu starken Rutschens des Seils in Seilrichtung.

Des Weiteren besteht der Wunsch, dass vom Versetzen des Seils abgesehen werden kann. Zur Erfüllung dieses Wunsches wurde versucht, vom Seilhersteller genaue

Anforderungen zu bekommen. Dieser verwies darauf, dass vom Versetzen abgesehen werden kann, wenn die vorgegebenen Grenzwerte für die Flächenpressung eingehalten werden und die Seilschwingungen im Rahmen sind. Ein genauer Rahmen für diese Schwingungen wurde jedoch nicht angegeben.

Die Lösung soll so erarbeitet werden, dass es zu keinen punktuellen Lasten an den Seilen kommt, da diese punktuellen Lasten sich negativ auf die Lebensdauer des Seils auswirken.

In Bezug auf die Kosten wurden keine genauen Angaben gemacht. Hier spielen besonders die Vorteile der neuen Version eine wichtige Rolle; kann zum Beispiel vom Versetzen des Seils abgesehen werden oder das Versetzintervall verlängert werden, werden höhere Kosten dadurch gerechtfertigt.

Benutzer Saccavini S.	Anforderungsliste für die Entwicklung von Armaturen für das Datenübertragungskabel auf Seilbahnstützen		Ausgabe 4
Datum der Änderung	F / W	Anforderung	Verantwortlicher
		1. Geometrie	Saccavini
25.5.18	W	Länge max. 535 mm (=+5% von jetzigem Seilschuh)	
25.5.18	W	Höhe max. 362 mm (=+5% von jetzigem Seilschuh)	
25.5.18	W	Breite max. 288mm (=+5% von jetzigem Seilschuh)	
17.5.18	F	Verwendete Seildurchmesser Ø14, Ø16, Ø18, Ø20 & Ø22	
25.5.18	F	D/d Verhältnis von min. 40 für OSS; min. 65 für OSS mit LWL	
13.4.18	F	Rillenform: Rillendurchmesser=Seil-Ø*1,02 ±1%	
25.5.18	W	Ein- & Ausgangsradius min. 30 mm	
17.5.18	F	Ein- & Auslaufwinkel min. ±20°	
25.5.18	F	Einstellbereich ±15°	
17.5.18	F	Anschluss auf Abhebebock (Profil SHS 200x200)	
25.5.18	F	Sicherung gegen Rutschen des Seils ab Seilfeldlänge von 400 m ermöglichen	
8.6.18	F	D/d der Montagerolle mindestens 4,5	
30.5.18	F	bisherige Montagerolle verwenden	
1.6.18	F	Für alle Seilverläufe	
25.9.18	F	Rillentoleranz für Klemmen +3,5 bis +5% auf Seilnennendurchmesser	
		2. Kinematik	
25.5.18	F	Geringes Rutschen des Seils auf Seilschuh in Seilrichtung muss möglich sein	
25.5.18	F	Bewegungsrichtung in Seilrichtung und quer dazu	
		3. Kräfte	
17.5.18	F	Kraftgrößen (Seilkraft, Stützendruckkraft, Winddruck) aus Seilrechnung	
25.5.18	F	Dmax: Ø16 40kN, Ø18 50kN, Ø20 55kN, Ø22 70kN	
25.5.18	F	Smax: Ø16 140kN, Ø18 152kN, Ø20 215kN, Ø22 260kN	
25.5.18	F	Kraftrichtung aus Seilrechnung von -35 bis + 35° auf jeder Seite	
25.5.18	W	Verformung möglichst gering	
25.5.18	W	Federeigenschaften/Dämpfung des Kunststoffes gegen Schwingung des Seils	
25.5.18	F	Keine Resonanz	
17.5.18	F	Max. zul. Pressung für OSS: 100 N/mm ²	
17.5.18	F	Max. zul. Pressung für OSS mit innenliegendem LWL: 60 N/mm ²	

		4. Stoff	
13.4.18	F	Werkstoff für Kontaktbereich mit Seil: Kunststoff, kein Gummi, bevorzugt PA6G	
30.5.18	F	Befestigungsstruktur aus Stahl (S355)	
25.5.18	F	Einsatztemperatur von -40 bis +60°C	
25.5.18	F	Schmierstoffbeständigkeit	
25.5.18	F	Witterungsbeständigkeit	
25.5.18	F	Korrosionsbeständigkeit C4 in meeresnähe nach DIN EN ISO 12944	
25.5.18	F	Keine zu starke Wasseraufnahme des Kunststoffes	
		5. Sicherheit	
25.5.18	F	Sichere Führung & Ableitung der Lasten	
25.5.18	F	Keine Seilentgleisung zulassen	
25.5.18	F	Lageüberwachung ab Seilfeldlänge von 400 m	
30.5.18	F	Kein zu starkes Rutschen des Seils zulassen	
25.5.18	F	Erdung/Potentialausgleich	
30.5.18	F	Seil darf an keiner Stelle geknickt werden	
1.6.18	F	keine Punktlasten am Seil durch Kantentragen	
		6. Fertigung	
25.5.18	F	Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren und Schweißen, keine Schmiedeteile	
25.5.18	F	Qualität & Toleranzen laut Vorgaben Doppelmayr-Norm & ISO 2768	
		7. Montage	
25.5.18	F	Keine Beschädigung des Seiles bei Seilzug	
25.5.18	W	Zusammenbau ev. in Werk	
30.5.18	W	Einfache Montage	
		8. Gebrauch	
25.5.18	W	Geräuscharm	
25.5.18	F	Kunststoff darf nicht zu sehr/schnell verschleifen	
25.5.18	F	Einsatzort weltweit	
25.5.18	F	Nutzungsdauer 30 Jahre	
		9. Instandhaltung	
2.5.18	W	Wartungsfreiheit	
25.5.18	W	Augenscheinlich Inspektionen einmal monatlich	
25.5.18	F	Säuberung von Vogelkot, Sand, Salz, etc. ermöglichen	
25.5.18	W	Versetzen des Seils nicht mehr notwendig	
		10. Recycling	
25.5.18	W	Einfach Demontage zur Trennung von den verwendeten Materialien	

		11. Kosten	
1.6.18		Keine genaue Angabe, hängt von den Vorteilen ab, prinzipiell sollten die Kosten aber in einem ähnlichen Bereich sein	
		12. Termin	
1.6.18		Ende 2018	

Tabelle 7: Anforderungsliste für die Entwicklung von Armaturen für das Datenübertragungskabel auf Seilbahnstützen

5 Konzipieren

Das Konzipieren wird von Pahl & Beitz (2005, S. 203) als der Teil des Konstruierens beschrieben, welcher durch Abstrahieren auf die wesentlichen Probleme, Aufstellen von Funktionsstrukturen und durch Suche nach Wirkprinzipien und deren Kombination in einer Wirkstruktur die prinzipielle Lösung festlegt.

In Abbildung 31 sind die Hauptarbeitsschritte für das methodische Konzipieren, wie sie von Pahl & Beitz (2005) beschrieben werden, dargestellt. Diese Arbeitsschritte wurden zur Erarbeitung der prinzipiellen Lösungen in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt. Im Folgenden werden die in Abbildung 31 dargestellten Arbeitsschritte kurz erläutert und anschließend wird auf die Ergebnisse der Arbeitsschritte eingegangen.

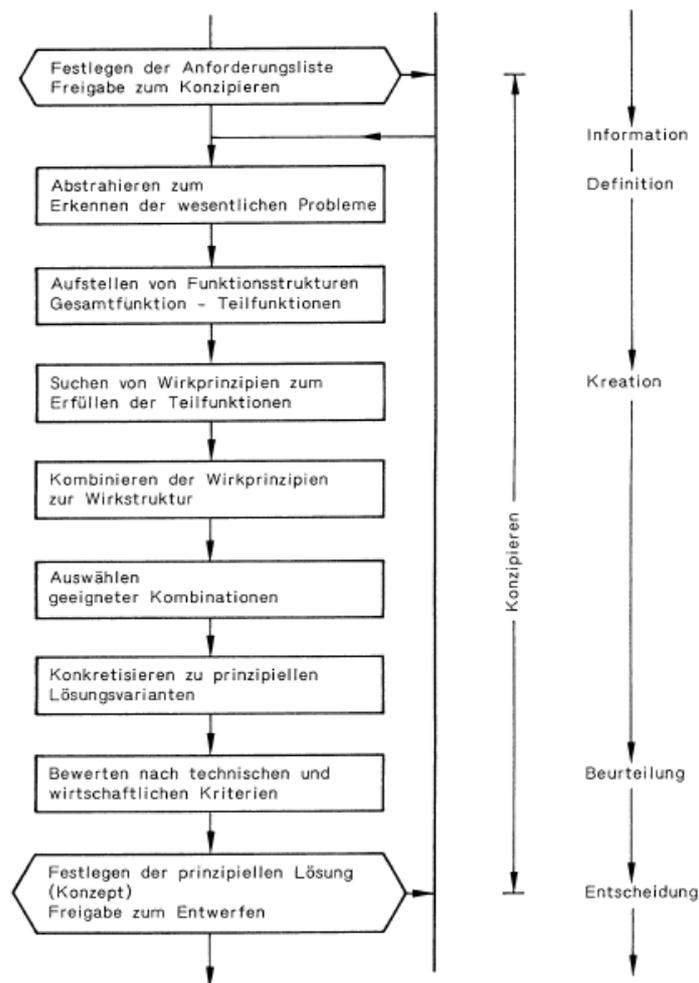


Abbildung 31: Arbeitsschritte beim Konzipieren (Pahl & Beitz, 2005, S. 204)

Im ersten Arbeitsschritt wurde ausgehend von der Anforderungsliste durch Abstrahieren das wesentliche Problem erarbeitet. Hierzu wurden nur die Forderungen betrachtet, welche die wesentlichen Bedingungen unmittelbar betreffen. Anschließend wurde die

Gesamtfunktion erarbeitet, diese wurde dann in Teilfunktionen aufgegliedert, um die Funktionsstruktur aufzustellen. Im nächsten Schritt wurden Wirkprinzipien zur Erfüllung dieser Teilfunktionen erarbeitet und in einem Ordnungsschemata dargestellt. Die Wirkprinzipien wurden in einem weiteren Schritt zu möglichen Lösungen kombiniert. Die so erarbeiteten Kombinationen wurden dann noch konkretisiert und nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien bewertet. Im letzten Schritt wurde die prinzipielle Lösung der Konzeptphase festgelegt.

5.1 Abstrahieren zum Erkennen der wesentlichen Probleme

Als Ergebnis des Arbeitsschrittes der Abstrahierung zum Erkennen der wesentlichen Probleme ergab sich folgendes:

Es sollen unterschiedliche Seildurchmesser und Seiltypen für unterschiedliche Belastungsfälle zwischen den Stationen geführt und abgestützt werden. Wobei keine Seilentgleisung und nur geringes Rutschen des Seils auftreten darf. Das Rutschen des Seils soll - falls notwendig - durch eine Positionsüberwachungseinheit überwacht werden und im Falle eines zu starken Rutschens soll dieses durch eine geeignete Vorrichtung gehindert werden. Die Realisierung für die unterschiedlichen Seildurchmesser und Seiltypen soll durch den Einsatz von Baukasten und Baureihen erfolgen.

5.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen: Gesamtfunktion – Teilfunktionen

Für diese Problemstellung wurde zuerst die Gesamtfunktion definiert und anschließend die Funktionsstruktur aufgestellt. Als Gesamtfunktion ergab sich das Führen und Abstützen des Seils bzw. Lufthängekabels zwischen den Stationen von Seilbahnen. Wobei das Seil über die Stützen geführt und dort abgestützt werden soll. In diesem Kontaktbereich soll die im Seil enthaltene Energie bzw. Kraft von den Stützen aufgenommen werden.



Abbildung 32: Gesamtfunktion

Nach der Anforderungsliste muss es möglich sein, die Position des Seils zu überwachen und bei langen Seilfeldern ein zu starkes Rutschen des Seils zu verhindern. Da diese Funktionsbausteine nicht immer benötigt werden, wurde entschieden, einen Baukasten

zu erarbeiten. Wobei je nach Seilverlauf eine Standardausführung ohne diese zwei Funktionsbausteine zu entwerfen ist, welche als Tragvariante und Niederhaltevariante ausgeführt werden kann. Des Weiteren soll eine Variante für den Fall, dass sich der Seilverlauf aufgrund der Belastung von einer Tragfunktion in eine Niederhaltefunktion oder umgekehrt ändert, entwickelt werden. Diese wird im Folgenden als Kombivariante oder -ausführung bezeichnet. Von der Kombiausführung soll es sowohl eine Standardausführung als auch eine Ausführung mit Positionsüberwachung geben. Eine weitere Ausführung, die erarbeitet werden soll, soll die Position des Seils überwachen und ein zu starkes Rutschen des Seils verhindern. Diese Ausführung wird im weiteren Verlauf der Arbeit als Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung bezeichnet.

Daraus ergeben sich folgende zu entwickelnden Varianten:

- Tragausführung
- Niederhalteausführung
- Kombiausführung
- Kombiausführung mit Positionsüberwachung
- Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung

In Tabelle 8 sind die Funktionen der Funktionsstruktur den unterschiedlichen Varianten zugeordnet. Es wird versucht, die unterschiedlichen Varianten durch ein Baukastensystem zu realisieren. Die Funktionen befinden sich in dieser Tabelle noch in einer zufälligen Reihenfolge. Bei Funktionen, die mit einem M markiert sind, handelt es sich um Mussbausteine, also Bausteine die in allen Varianten erfüllt werden müssen, bei Funktionen, die mit einem S markiert sind, handelt es sich um Sonderbausteine, die nur für spezielle Varianten benötigt werden. In den letzten zwei Spalten ist noch markiert, ob es sich bei der Funktion um eine Funktion für den Betrieb oder für die Montage handelt.

	Bausteinart	Tragausführung	Niederhalteaushführung	Kombiausführung	Kombiausführung mit Positionsüberwachung	Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung	Betrieb	Montage
Funktion								
Seil aufnehmen	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Seil führen	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Kraft aufnehmen	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Schwingung dämpfen	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Seilposition überwachen	S				✓	✓	✓	
An Seilverlauf anpassen	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Geringfügige Bewegung des Seils zulassen	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Seilentgleisung verhindern	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Seil an zu starkem Rutschen hindern	S					✓	✓	
Einziehen des Seils ermöglichen	M	✓	✓	✓	✓	✓		✓

Tabelle 8: Funktionen und Zuteilung zu den einzelnen Ausführungen

In Abbildung 34 ist die Funktionsstruktur für die Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung zu sehen. Diese Funktionsstruktur wurde dargestellt, da hier alle Funktionsbausteine vorhanden sein müssen. Hier kommt von beiden anliegenden Seilfeldern das Seil mit der enthaltenen Energie bzw. Kraft in das System. Falls es notwendig ist, sollen im freien Feld die auftretenden Schwingungen durch Anwendung der in Kapitel 2.5.7 genannten Maßnahmen zur Reduzierung von Schwingungen getilgt werden. Bei der folgenden Sonderfunktion soll, falls notwendig, die Position des Seils überwacht werden. Im Besonderen soll hier überwacht werden, ob das Seil zu stark rutscht. Anschließend soll das Seil von dem System aufgenommen und geführt werden. In diesem Bereich sollen die auftretenden Kräfte vom System aufgenommen werden. Das zu entwickelnde System soll sich an den Seilverlauf anpassen. Des Weiteren ist es gefordert, ein geringfügiges Rutschen des Seiles zuzulassen. Falls nötig soll aber ein zu starkes Rutschen des Seiles durch eine geeignete Lösung verhindert werden. Gleichzeitig

soll aber z.B. bei einem Seilriss das Seil durchrutschen können, da sonst zu hohe horizontale Kräfte auf die Stützen wirken würden. Des Weiteren sollen, wenn möglich die Schwingungen des Seils durch das System getilgt sowie eine Seilentgleitung, also ein Herausspringen des Seiles aus der Vorrichtung, verhindert werden. Dann soll das Seil wieder in das anschließende Feld freigegeben werden bzw. das Seil von dieser Seite aufgenommen werden.

Zusätzlich wurde eine Funktionsstruktur für die Montage des Systems auf den Stützen angefertigt (siehe Abbildung 33). Das System soll in einem ersten Schritt auf den Stützen befestigt werden. Anschließend soll eine Anpassung an die Seileinlauf- und Seilauflaufwinkel erfolgen sowie das Einziehen des Seils ermöglicht werden, ohne das Seil zu beschädigen. In einem letzten Schritt soll die Armatur noch geerdet werden.



Abbildung 33: Funktionsstruktur für die Montage des Systems

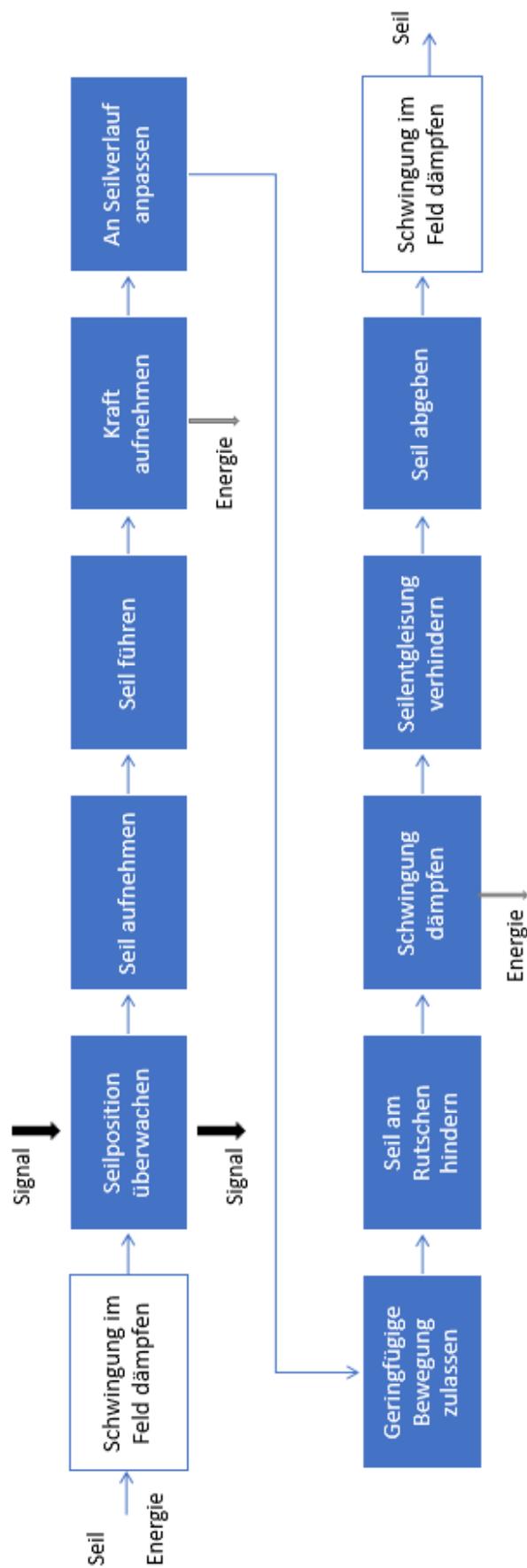


Abbildung 34: Funktionsstruktur

5.3 Suche nach Wirkprinzipien zum Erfüllen der Teilfunktionen

Um Lösungen für die erarbeiteten Funktionen der Funktionsstruktur zu finden, wurden Methoden zur Lösungssuche angewandt, die in Pahl & Beitz (2005, S. 106-135) beschrieben werden. Zur Lösungsfindung wurden folgende Methoden angewendet:

- Kollektionsverfahren
 - Literaturrecherche
 - Auswertung von Verbandsberichten
 - Auswertung von Katalogen der Konkurrenz
 - Patentrecherche
- Analyse bekannter technischer Systeme
 - Produkte des Wettbewerbs
 - Ältere Produkte im eigenen Unternehmen
 - Ähnliche Produkte mit einzelnen Teilfunktionen
- Systematische Analyse des physikalischen Geschehens und
- Marktrecherche

In Bezug auf die systematische Analyse des physikalischen Geschehens wurden hier die unterschiedlichen Formeln zur Berechnung der Pressungen betrachtet und darauf geachtet, wie die Pressungen herabgesetzt werden können. Bei den meisten Formeln konnte hierbei weder konstruktiv noch durch die Verwendung anderer Materialien eine Verbesserung gewonnen werden. Es ergab sich jedoch, dass durch eine Anpassung der Rille eine größere Berührfläche entsteht und somit die Pressungen herabgesetzt werden können. Des Weiteren ist es nach Formel (10) möglich, durch eine Anpassung des Materials bzw. des Elastizitätsmoduls für die Rille die Pressungen herabzusetzen. Bei der Marktanalyse wurden zum einen Personenseilbahnen und Materialeilbahnen der Konkurrenz und zum anderen weitere Anwendungsbereiche, bei denen Seile mit ähnlicher Funktion eingesetzt werden, wie z.B. der Freileitungsbau, betrachtet. In Bezug auf die Personen- und Materialeilbahnen hat sich herausgestellt, dass die Lagerung der Seile auf den Stützen sowohl pendelbar als auch fix, sowohl mit geteilten als auch ungeteilten Sätteln, mit aufgehängten Ausführungen und zum Teil sogar mit kardanischen Aufhängungen erfolgt. In Bezug auf den Freileitungsbau stellte sich heraus, dass es sich hier beim Großteil der verwendeten Aufhängungen um pendelbar geklemmte relativ kurze Aufhängungen handelt, bei denen meistens noch zusätzlich Schutzspiralen verbaut wurden. Das Problem der Marktrecherche ist, dass hier meistens nur Fotos der Ausführungen herangezogen werden konnten und somit keine

Informationen über die anschließenden Seilfeldlängen oder die auftretenden Belastungen zur Verfügung standen.

Die Ergebnisse der Lösungsfindung wurden in einem Ordnungsschemata gesammelt (siehe Abbildung 35). Anschließend wurden mithilfe einer Auswahlliste Lösungen, deren Verträglichkeit nicht gegeben sind, die den Anforderungen nicht entsprechen, die grundsätzlich nicht realisierbar sind, deren Aufwand unzulässig und deren unmittelbare Sicherheit nicht gegeben ist, gestrichen.

Als schwierig zu realisieren ergab sich die Dämpfung der auftretenden Seilschwingung innerhalb des Systems. Die in Abbildung 35 in Zeile 5 und Spalte 4 dargestellte Lösung für dieses Problem, eine pendelbare Lagerung, soll erarbeitet werden. Falls eine solche Lösung nicht den gewünschten Effekt liefern sollte bzw. deren Realisierung ein Problem darstellt, wird eine fix einstellbare Lösung weiterverfolgt. Des Weiteren wird dazu geraten, die in Kapitel 2.5.7 beschriebenen Methoden zur Reduzierung der Schwingungen, im speziellen der Einsatz von Schwingungsdämpfern, anzuwenden, um die Ermüdungsbeanspruchung zu minimieren.

5.4 Kombinieren der Wirkprinzipien

Aus den übriggebliebenen Lösungsmöglichkeiten für die Funktionen wurden sechs Gesamtlösungen kombiniert (siehe Abbildung 35 und Abbildung 36). Hierzu wurden die Lösungen im morphologischen Kasten mit Strichen verbunden. Für diese Lösungsvarianten wurden Handskizzen angefertigt. Diese sind in Abbildung 37 dargestellt. Zusätzlich sind noch zwei Lösungen dargestellt, die schon vorher als mögliche Lösungen skizziert wurden. Bei diesen Lösungen handelt es sich um eine Ausführung mit vielen kleinen Rollen (7), welche mit einer Rollenbatterie verglichen werden kann und einer Lösung, bei der das Seil auf einem geklemmten Scheibensegment (8), welches drehbar gelagert ist, befestigt wird.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0 Seil-schwingung im Feld dämpfen	bisher	bisher > 400m									
1 Seilposition überwachen		Stück für Stück / diffbar - leicht (2) - EP 2,99 Sens	Stabilisierungspunkt	geplant, Überwachung / (Überwachung...)	mag. Überwachung						
2a Seil aufnehmen/ abgeben (in Seilrichtung)		Bruchschakelle	Bruchschakelle in 100m (unter 60)	Fest + Radius	Schleppseil					gepl. Seilwinde	
2b Seil aufnehmen/ abgeben (quer zur Achse)				Fest	seilspinn						
2c Seil aufnehmen/ abgeben (von oben)			Trimpfseil	große Ein-/Ausleitung	Fest/Fest						
3a Seil führen (in Seilachse)		Planum je 20' Einleitung		Kleinlich						Einlege/Auslage	
3b Seil führen (quer zur Achse)										gepl. Seilwinde	
4 Kraft aufnehmen										gepl. Seilwinde	
5 Schwingung dämpfen											
6 Geringfügige Bewegung des Seils zulassen											
7 Seil am Rutschen hindern											

Abbildung 35: Kombination zu prinzipiellen Lösungsvarianten Teil 1

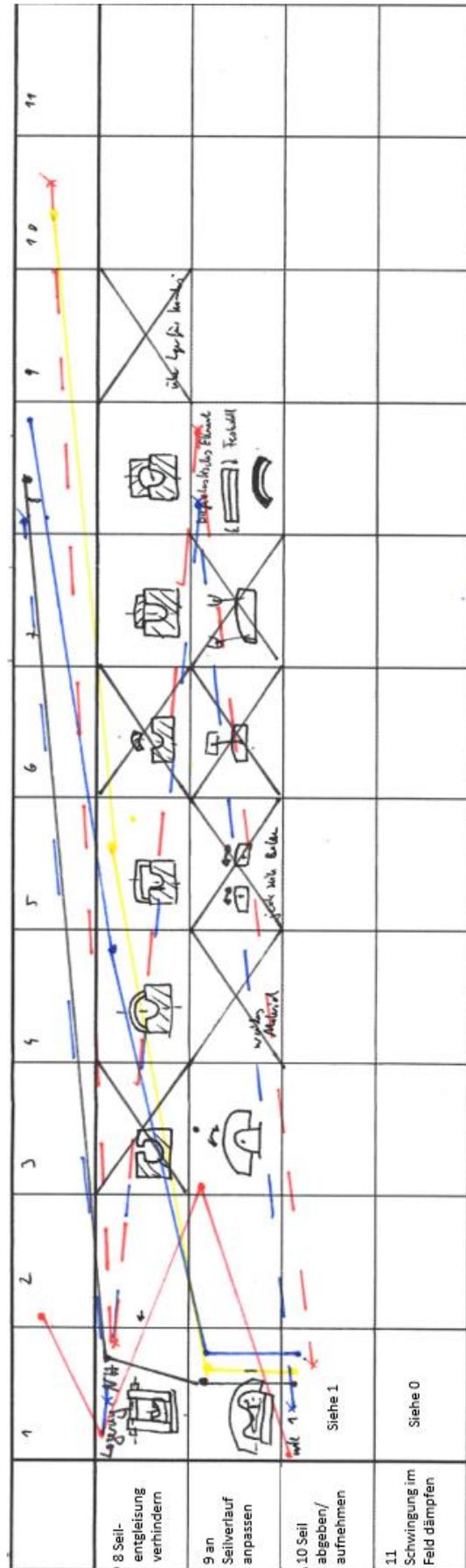


Abbildung 36: Kombination zu prinzipiellen Lösungsvarianten Teil 2

Abbildung 37 zeigt nur die Darstellung der Tragausführung, da diese die meist eingesetzte Ausführung darstellt und somit das Hauptaugenmerk auf das Optimieren der Lösung dieser Ausführung gelegt wurde. Bei der Kombination zu den prinzipiellen Lösungsvarianten wurden aber auch die anderen Ausführungsformen skizziert.

Die Lösungen 1 bis 6 sind so aufgebaut, dass eine Schweißbaugruppe am Seilabhebebock befestigt wird. Diese Schweißbaugruppe wird mit einer zweiten Schweißbaugruppe, in der sich die Kunststoffeinslagen, Rollen und restlichen Funktionselemente befinden, verbaut. Im Folgenden werden die Lösungen kurz beschrieben, wobei hier vor allem auf einige Unterschiede der Lösungen eingegangen wird.

Bei Lösung 1 handelt es sich um eine Lösung mit einer zweiteiligen Kunststoffführung die drei Rollen für den Seilzug besitzt. Eine dieser drei Rollen befindet sich in der Mitte der Konstruktion und die anderen zwei befinden sich jeweils am Seileinlauf bzw. Seilauflauf. Die Kunststoffführungen sollen hierbei trompetenförmig ausgeführt werden. Des Weiteren soll diese Lösung pendelbar gelagert werden.

Lösung 2 besitzt ebenfalls eine zweiteilige Kunststoffführung. Hier ist aber nur eine Rolle für das Einziehen des Seils vorgesehen. Die Anpassung an den Seilverlauf soll durch eine grobe Voreinstellung und eine leicht pendelbare Lagerung erfolgen.

Lösung 3 besteht aus zwei Kunststoffeinslagen und einer mittigen Rolle für das Einziehen des Seils. Diese Lösung ist pendelbar gelagert.

Lösung 4 besitzt eine einteilige Kunststoffeinslage und zwei Rollen für den Seilzug. Diese Lösung ist ebenfalls pendelbar gelagert.

Bei den Lösungen 5 und 6 handelt es sich prinzipiell um ähnliche Lösungen. Bei diesen zwei Lösungen erfolgt die Anpassung an den Seilverlauf über eine einstellbare Lösung. Die Besonderheit dieser zwei Lösungen besteht darin, dass sich der Kunststoff zur Führung des Seils auf einem biegeelastischen Element befindet, welches durch das Aufbringen einer Kraft an den Seilverlauf angepasst wird. Diese zwei Lösungen unterscheiden sich dadurch, dass bei der Lösung 5 die Kunststoffeinslage zweiteilig ist und nur eine mittige Rolle für den Seilzug vorgesehen ist, Lösung 6 hingegen besitzt nur eine Kunststoffeinslage und zwei Rollen für den Seilzug.

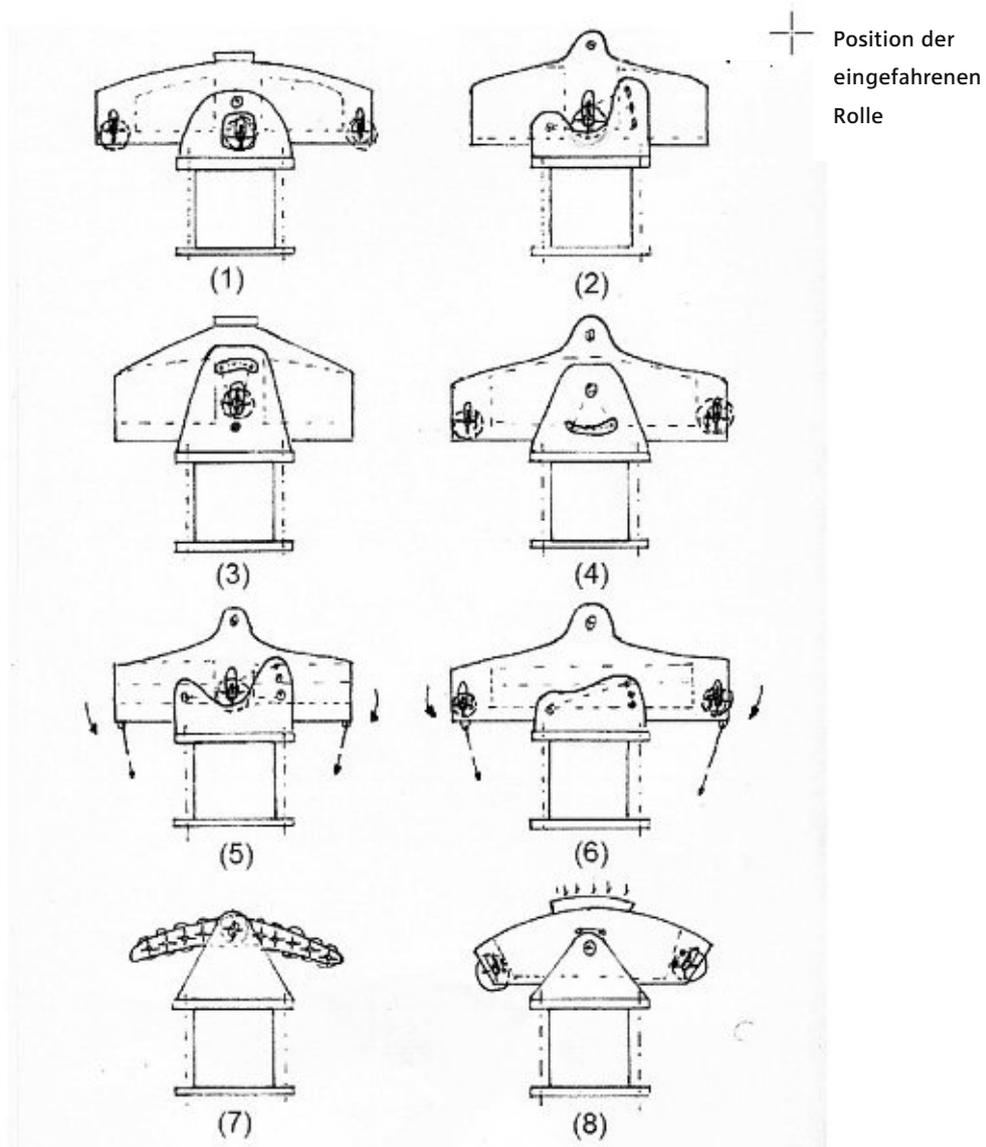


Abbildung 37: Kombinierte Lösungen

5.5 Auswählen geeigneter Kombinationen

In Tabelle 9 ist die Auswahlliste, mithilfe der die in Abbildung 37 dargestellten Lösungen in einem ersten Schritt überprüft wurden, dargestellt. Die Auswahl erfolgt hierbei mit den folgenden Auswahlkriterien:

- Verträglichkeit (A)
- Erfüllung der Anforderungsliste (B)
- grundsätzliche Realisierbarkeit (C)
- Aufwand (D)
- unmittelbaren Sicherheitstechnik (E) und
- im eigenen Bereich bevorzugt (F)

In Tabelle 9 steht ein Plus dafür, dass das Auswahlkriterium erfüllt wird und ein Minus dafür, dass das Auswahlkriterium nicht erfüllt wird. Ein Minus in den Kriterien A bis E führt zu einem Ausscheiden der Lösung, wohingegen ein Minus in dem Auswahlkriterium F nur die Bevorzugung einer anderen Lösung darstellt.

Auswahlliste für Armaturen für das Lufthängekabel auf Seilbahnstützen							Datum: 12.7.2018 Blatt: 1	
Lösungsvariante	Auswahlkriterien beurteilen: (+) ja (-) nein (?) Informationsmangel (!) Anforderungsliste überprüfen						Entscheiden: (+) Lösung weiter verfolgen (-) Lösung scheidet aus (!) Anforderungsliste auf Änderung prüfen (?) Information beschaffen (Lösung erneut beurteilen)	
	Verträglichkeit gegeben	Forderungen der Anforderungsliste erfüllt	Grundsätzlich realisierbar	Aufwand zulässig	Unmittelbare Sicherheitstechnik	Im eigenen Bereich bevorzugt		Bemerkung (Hinweise, Begründung)
LV	A	B	C	D	E	F		
1	+	+	+	+	+	-	Trompetenform, Pendeln nicht eingeschränkt	+
2	+	+	+	+	+	+	(Weiterentwicklung der bisherigen Lösung)	+
3	+	+	+	+	+	-	ev. zu starkes Pendeln, ev. Problem mit Montagerolle und Lagerbolzen	+
4	+	+	+	+	+	-	Position der Montagerollen, Problem mit Sicherung gegen Rutschen gegen Rutschen	+
5	+	+	+	+	+	-	Verhalten bei Schwingung, Einstellen des Ablenkwinkels	+
6	+	+	+	+	+	-	Verhalten bei Schwingung, Einstellen des Ablenkwinkels, Sicherung gegen Rutschen	+
7	+	-					Hohe Pressungen wegen Punktlasten	-
8	+	-					Geklemmte Ausführung	-

Tabelle 9: Auswahlliste für die Gesamtlösungen

Als Ergebnis der Auswahlliste stellte sich heraus, dass die Lösungen 1 bis 6 weiterverfolgt und konkretisiert werden sollen, wohingegen die Lösungen 7 und 8 ausgeschieden sind, da diese zwei Lösungen die Anforderungen nicht erfüllen. Bei Lösung 7, bei der viele kleine Rollen eingesetzt werden sollen, werden aufgrund des sehr kleinen zu erwartenden Auflagebereichs Punktlasten erwartet, welche zu sehr hohen Pressungen führen. Diese sehr hohen Pressungen führen zu einem Ausscheiden der Lösung. Lösung

8 stellt eine geklemmte Lösung dar, bei der die Forderung nach einem geringen Rutschen des Seils nicht gegeben ist. Deshalb scheidet diese Lösung aus.

5.6 Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten

Die nicht ausgeschiedenen Lösungen wurden im Folgenden noch zu prinzipiellen Lösungsvarianten konkretisiert. Hier wurde das Hauptaugenmerk auf die Anordnungs- und Gestaltungsstudie über mögliche Form, Platzbedarf und räumliche Verträglichkeit gelegt. Außerdem wurden die wesentlichen Punkte der Leitlinie nach Sicherheit, Ergonomie, Fertigung, Kontrolle, Montage, Transport, Gebrauch, Aufwand und Recycling betrachtet. Des Weiteren wurden soweit möglich orientierende Berechnungen in Bezug auf die zu erwartenden Pressungen durchgeführt.

Die so erarbeiteten prinzipiellen Lösungsvarianten sind in Abbildung 38 dargestellt. Zur besseren Übersicht sind nur die Tragausführungen abgebildet, da diese die mit Abstand größte Anzahl ausmachen und deshalb bei der Erarbeitung das Hauptaugenmerk auf diese Ausführungen gelegt wird.

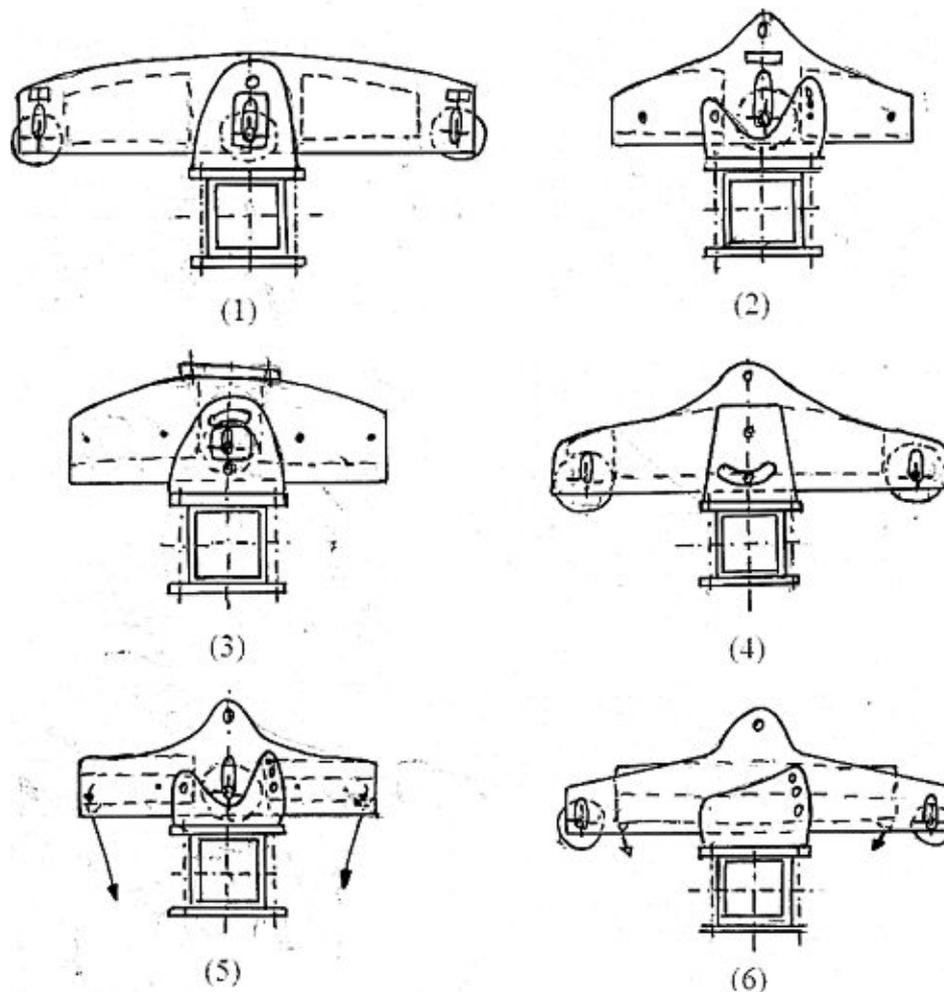


Abbildung 38: Konkretisierte Lösungen

5.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien

Aus der Anforderungsliste und der Hauptmerkmalliste, in der allgemein technische und wirtschaftliche Eigenschaften aufgezählt sind, ergaben sich folgende technische und wirtschaftliche Bewertungskriterien.

Technische Bewertungskriterien:

- Geeignet für große Lasten
- Dämpfung der Schwingungen
- Seilschonende Führung
- Geringer Platzbedarf
- Einfaches Einziehen des Seils
- Einfacher Transport
- Lange Lebensdauer
- Witterungsbeständigkeit
- Einfache Wartung / Kontrolle

Wirtschaftliche Bewertungskriterien:

- Geringe Materialkosten
- Geringe Personalkosten
- Einfache Fertigung
- Wenig Teile
- Leichte Montage

Mithilfe dieser Kriterien sollen die in Abbildung 38 dargestellten Lösungen in Bezug auf die wirtschaftliche und technische Wertigkeit bewertet werden. Die Bewertung erfolgte nach der Punkteskala aus VDI 2225 Blatt 3 (1998, S. 4) siehe Abbildung 39 und wurde mit gleicher Gewichtung durchgeführt. Die wirtschaftlichen Aspekte flossen nur qualitativ in die Bewertung ein, da eine Kostenabschätzung zum diesem Zeitpunkt nicht möglich war.

Annäherung an die ideale Verwirklichung:	
sehr gut (ideal)	$p = 4$ Punkte
gut	$p = 3$ Punkte
ausreichend	$p = 2$ Punkte
gerade noch tragbar	$p = 1$ Punkt
unbefriedigend	$p = 0$ Punkte

Abbildung 39: Punktbewertungsskala (VDI2225, 1998, S. 4)

In Tabelle 10 und Tabelle 11 sind die technischen und wirtschaftlichen Bewertungen der verbleibenden prinzipiellen Lösungen aus Abbildung 38 zu sehen. Zum Vergleich mit den ausgearbeiteten Lösungen wurde in der jeweils letzten Spalte die bisherige Lösung bewertet. Bei der technischen Bewertung weisen Lösung 2 und 3 die gesamt höchste technische Wertigkeit auf. Für die wirtschaftliche Wertigkeit weist die bisherige Ausführung die höchste Gesamtwertigkeit auf, da es sich bei dieser Lösung um die Lösung mit den geringsten Herstellungskosten und der geringsten Anzahl an Teilen handelt. Auf die bisherige Lösung folgen die Lösungen 2 und 3.

Nach Hauptmerkmalen der Leitlinie geordnet	P: vorhandene Variante		Gewichtung	1	2	3	4	5	6	bisherige Lösung
	Nr.	Bewertungskriterium								
Funktion	1	geeignet für große Lasten	1	3	4	3	4	4	4	1
	2	Dämpfung der Schwingungen	1	2	2	2	2	2	2	2
Wirkprinzip	3	Seilschonende Führung	1	4	3	4	3	3	3	1
Gestalt	4	geringer Platzbedarf	1	2	4	4	2	1	1	4
Montage	5	Einfaches Einziehen des Seils	1	2	3	3	2	3	2	3
Transport	6	einfacher Transport	1	4	4	4	4	4	4	4
Gebrauch	7	lange Lebensdauer	1	3	3	3	3	3	3	2
	8	Witterungsbeständigkeit	1	4	4	4	4	4	4	4
Instandhaltung	9	einfache Wartung / Kontrolle	1	3	3	3	2	3	3	3
Pmax = 4			Σ	27	30	30	26	27	26	24
Wt=Pi/(n*Pmax)				0,75	0,83	0,83	0,72	0,75	0,72	0,67

Tabelle 10: Technische Bewertung der verbliebenen prinzipiellen Lösungsvarianten

P: vorhandene Variante		Gewichtung	1	2	3	4	5	6	Bisherige Lösung
Nr.	Bewertungskriterium								
1	geringe Materialkosten	1	2	4	4	3	2	1	4
2	geringe Personalkosten	1	2	3	2	3	2	2	4
3	einfache Fertigung	1	2	3	2	2	3	2	3
4	wenig Teile	1	1	3	3	2	1	1	3
5	leichte Montage	1	1	3	3	2	1	1	3
Pmax = 4		Σ	8	16	14	12	9	7	17
Wt=Pi/(n*Pmax)			0,40	0,80	0,70	0,60	0,45	0,35	0,85

Tabelle 11: Qualitativ wirtschaftliche Bewertung der verbleibenden prinzipiellen Lösungsvarianten

In Abbildung 40 ist der Vergleich der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeiten der prinzipiellen Lösungen in einem Diagramm dargestellt. Als Ergebnis stellt sich heraus, dass Lösung 2 die Lösung mit dem besten Gesamtwerteprofil darstellt, wobei hier auch keine augenscheinlichen Schwachstellen auffallen. Lösung 3 besitzt ebenfalls ein gutes Gesamtwerteprofil, wird vom Auftraggeber aber nicht favorisiert. Die anderen Lösungen weisen zum Teil Schwachstellen auf bzw. haben nur ein geringes Gesamtwerteprofil und wären somit noch stark verbesserungswürdig und werden deshalb nicht weiterverfolgt.

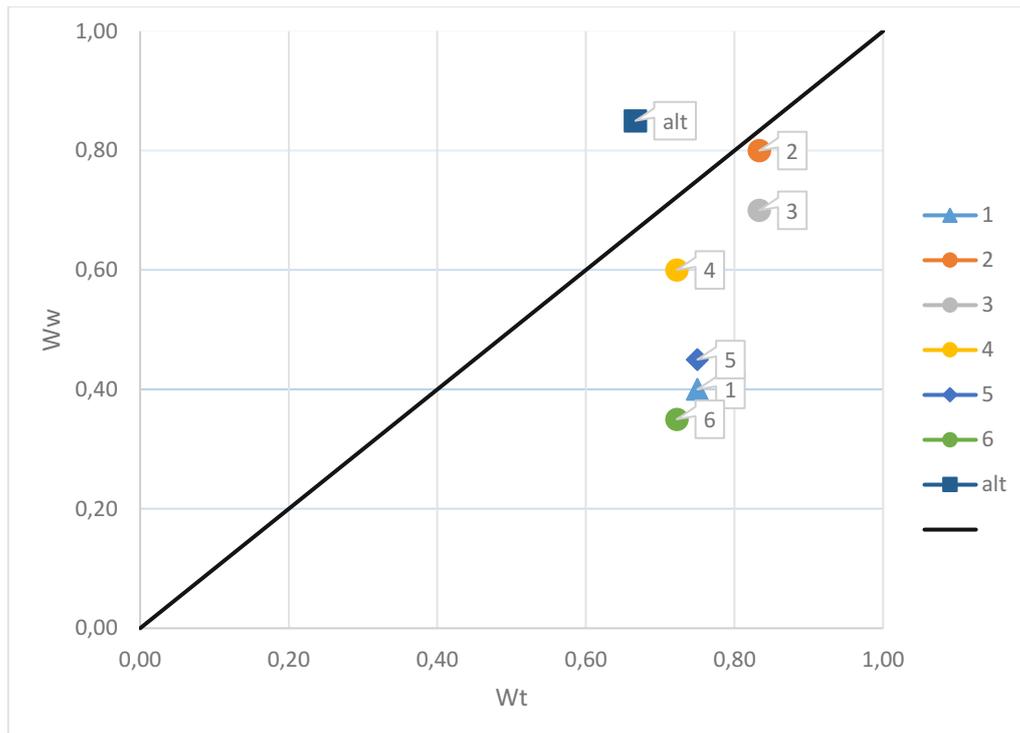


Abbildung 40: Vergleich der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeiten der prinzipiellen Lösungsvarianten

5.8 Festlegen der prinzipiellen Lösung und Freigabe zum Entwerfen

In Abbildung 41 ist eine grobmaßstäbliche Skizze der Lösung 2 für die Tragvariante dargestellt.

Die Lösung besteht aus einer Schweißkonstruktion (a), im Folgenden als Konsole 1 bezeichnet, welche mithilfe einer Klemmplatte (b) am Profil des Abhebebocks (c) durch Schrauben befestigt wird. In einer zweiten Schweißkonstruktion (d), im weiteren Verlauf dieser Arbeit als Konsole 2 bezeichnet, werden die zwei Kunststoffeinlege-teile (e) positioniert und die Montagerolle (f) verbaut. Konsole 2 wird mit Konsole 1 in der entsprechenden Lochkombination verschraubt, damit der Seilschuh an den Seilverlauf angepasst werden kann. Es wird versucht, eine Lösung zu realisieren, die geringfügig mit dem Seil mitschwingen kann.

Für die Niederhaltevariante wird die Konstruktion der Tragvariante mit einer zusätzlichen Montagerolle auf dem Kopf stehend am Seilabhebebock verbaut.

In Abbildung 42 sind die vorläufigen Bausteine für die Realisierung der Kombivariante dargestellt. Wobei hier nur die Lösung ohne Positionsüberwachung dargestellt ist. Für die Positionsüberwachung soll die gleiche Positionsüberwachungseinheit (i) wie bei der Variante mit Klemme und Positionsüberwachungseinheit verbaut werden (Abbildung 43). Diese Lösung besitzt zwei Schweißkonstruktionen, Konsole 2 (d) und Konsole 3 (g).

In beiden Schweißkonstruktionen werden je zwei Kunststoffeinlagen für die Seilführung verbaut und Konsole 2 wird mit Konsole 3 verschraubt. Des Weiteren besitzen sowohl Konsole 2 als auch Konsole 3 je eine Montagerolle. Die zusammengebauten Konsolen 2 und 3 werden mit Konsole 1 wie bei der Tragausführung verbaut und auf dem Seilabhebebock befestigt.

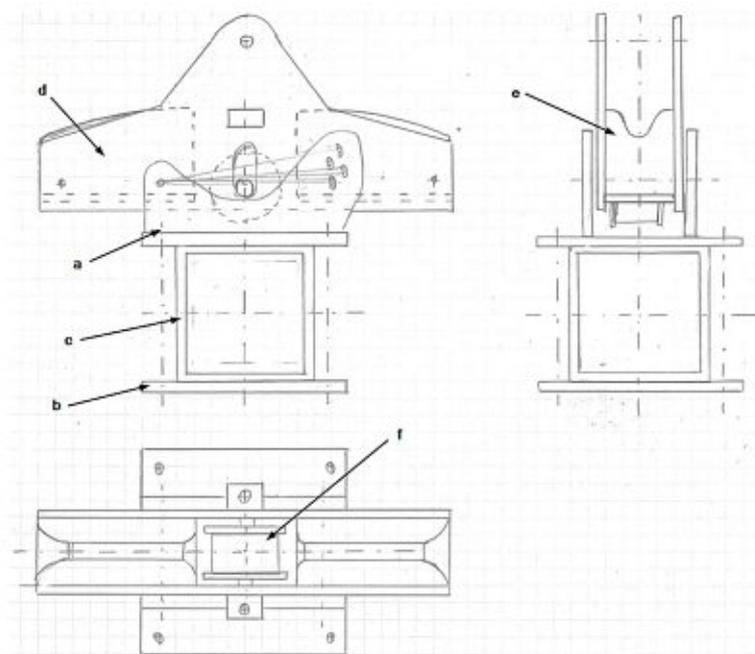


Abbildung 41: Prinzipielle Lösung für die Tragausführung

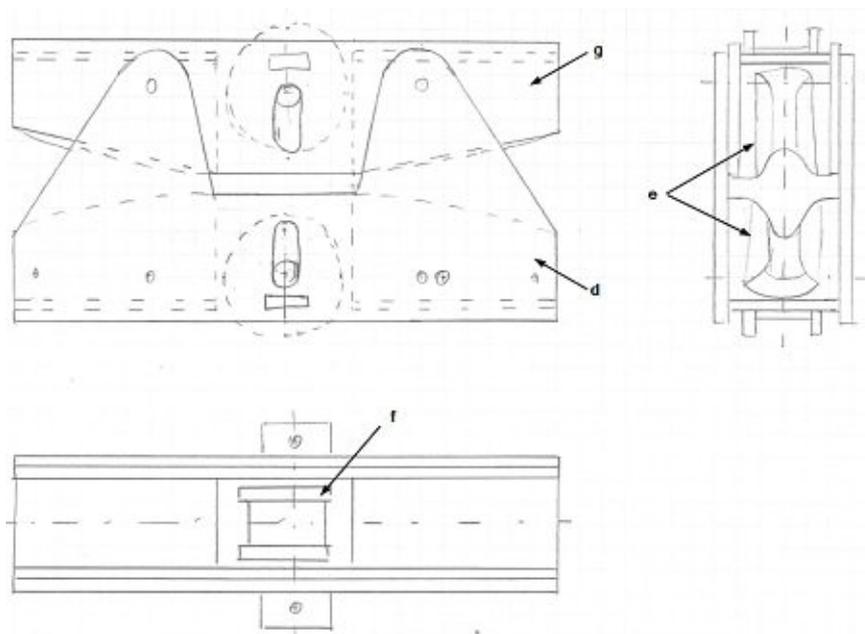


Abbildung 42: Baukastenkomponenten für Kombivariante

Abbildung 43 stellt die Bausteine für die Variante mit Klemme und Positionsüberwachungseinheit dar. Diese Lösung besteht ebenfalls aus einer Schweißkonstruktion, Konsole 2 (d), in der zwei Kunststoffeinlagen (e) und eine Montagerolle (f) verbaut werden. Zusätzlich sind hier noch eine Klemme (h) und jeweils beim Seileinlauf eine Positionsüberwachungseinheit (i) vorgesehen. Diese Bauteile werden dann wieder mit einer Schweißkonstruktion, Konsole 1, welche auf dem Seilabhebebock befestigt wird, verbaut.

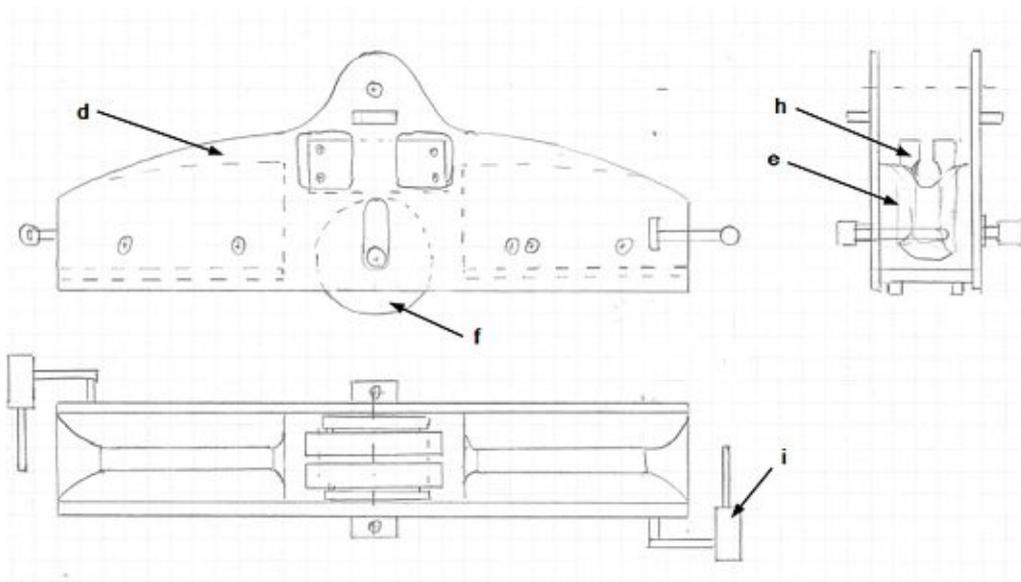


Abbildung 43: Baukastenkomponenten für Variante mit Klemme und Positionsüberwachung

Die dargestellten Lösungen weisen keine augenscheinlichen Schwachstellen auf und können somit für die Entwurfsphase freigegeben werden.

6 Entwerfen

Unter Entwerfen wird nach Pahl & Beitz (2005, S. 276) der Teil des Konstruierens verstanden, welcher ausgehend von der prinzipiellen Lösung die Baustruktur nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eindeutig und vollständig erarbeitet. Das Ergebnis stellt die gestalterische Festlegung einer Lösung dar. In dieser Phase soll auf die Wahl der Werkstoffe und Fertigungsverfahren, die Festlegung der Hauptabmessungen und die Untersuchung der räumlichen Verträglichkeit, die Vervollständigung der Teillösungen und der sich ergebenden Nebenfunktionsträger eingegangen werden.

In Abbildung 44 ist ein prinzipieller Vorgehensplan mit den Hauptarbeitsschritten beim Entwerfen dargestellt. Dieser diente in der Entwurfsphase als Leitfaden, wobei nicht alle Punkte ausgeführt wurden.

Des Weiteren wurde in der Entwurfsphase - ausgehend von der prinzipiellen Lösung aus der Konzeptphase - das Hauptaugenmerk auf die von Pahl & Beitz (2005, S. 285-324) erläuterten Grundregeln zur Gestaltung eindeutig, einfach und sicher gelegt. Deren Zielsetzungen sind die Erfüllung der technischen Funktion, die wirtschaftliche Realisierung und die Sicherheit für Mensch und Umgebung. Ebenfalls wurde in der Entwurfsphase auf die Gestaltungsprinzipien und Gestaltungsrichtlinien, wie von Pahl & Beitz (2005, S. 324-487) beschrieben, eingegangen. Wobei hier nur auf die für das Produkt relevanten Punkte eingegangen wurde.

In diesem Kapitel wird im Folgenden zuerst erläutert, wie in der Entwurfsphase vorgegangen wurde. Anschließend wird die Realisierung des Baukastensystems erklärt. Dann werden einige besonders wichtig erscheinende Funktionsträger sowie die erarbeitete Ausführung des Baukastensystems beschrieben. Anschließend wird noch auf die Bewertung der Lösung eingegangen.

Die Erarbeitung des Entwurfs erfolgte mittels der CAD-Software Siemens NX11.

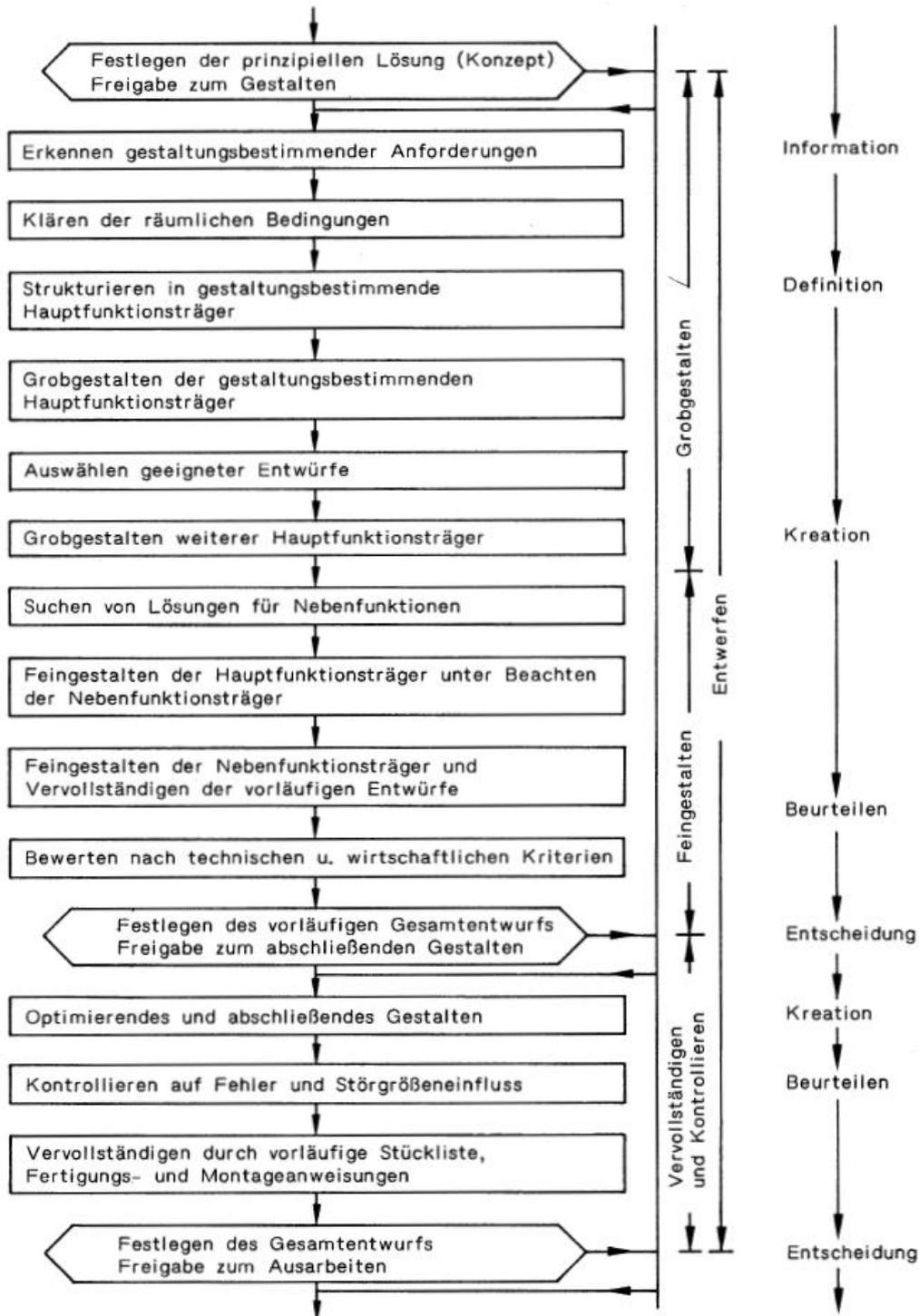


Abbildung 44: Hauptarbeitsschritte beim Entwerfen (Pahl & Beitz, 2005, S. 278)

6.1 Vorgehen

In einem ersten Schritt wurden, wie in Abbildung 44 dargestellt, die gestaltungsbestimmenden Anforderungen und räumlichen Bedingungen aus der Anforderungsliste aus Kapitel 4.1 erarbeitet. Hier stellte sich heraus, dass das einzuhaltende D/d -Verhältnis, die Ein- und Auslaufwinkel, die geforderte Rillengeometrie, die geforderten Ein- und Auslaufradien, die Klemmlänge zur Einhaltung

der Pressungen beim Einsatz einer Schraubklemme und die einzusetzende Montagerolle die Abmessungen wesentlich bestimmen. Für die Anordnung ist besonders die Anpassung an den Seilverlauf entscheidend. In Bezug auf die werkstoffbestimmenden Anforderungen soll für die Aufnahme und Führung des Seils PA6G und für die Haltekonstruktion S355 verwendet werden. Des Weiteren soll die erarbeitete Lösung den Anforderungen in Bezug auf Korrosions- und Witterungsbeständigkeit genügen. Nachdem die gestaltungsbestimmenden Anforderungen und die räumlichen Bedingungen geklärt wurden, wurde eine Strukturierung der gestaltungsbestimmenden Hauptfunktionsträger durchgeführt. In einem ersten Schritt wurden deshalb einige Grobentwürfe der Kunststoffeinlage und deren Haltekonstruktion erarbeitet. Anschließend wurden Überlegungen angestellt, wie die Anpassung an den Seilverlauf am besten ausgeführt und die Kräfte von der Kunststoffeinlage auf die Stütze übertragen werden können.

Darauffolgend wurden die weiteren Hauptfunktionsträger ebenfalls zuerst grobgestaltet sowie Lösungen für die Nebenfunktionen erarbeitet. Hierbei wurde speziell auf die Seilzugeinheit, auf die Lösung zum Hindern des Rutschens des Seils sowie auf die Seilpositionsüberwachung geachtet.

Anschließend wurde eine Feingestaltung der Hauptfunktionsträger unter Beachtung der Nebenfunktionsträger ausgeführt und ein vervollständigter vorläufiger Entwurf mit den feingestalteten Nebenfunktionsträgern erarbeitet. Dieser Entwurf wurde dann nach technischen Kriterien bewertet. Da die Bewertung zufriedenstellend war, wurde dieser Entwurf als ein vorläufiger Gesamtentwurf festgelegt.

Im weiteren Verlauf wurde dieser Gesamtentwurf optimiert, abschließend gestaltet und auf Fehler kontrolliert.

Wie bisher wurde zuerst das Hauptaugenmerk auf die Erarbeitung der Tragausführung gelegt, da diese die am häufigsten eingesetzte Ausführung darstellt. Es wurde aber immer bedacht, dass die anderen Baukastenausführungen einfach zu realisieren sein sollen und die Lösungen später noch als Baureihe erweitert werden sollen.

Während des soeben beschriebenen Vorgehens in der Entwurfsphase wurde immer versucht, die Grundregeln zur Gestaltung, die Gestaltungsprinzipien und Gestaltungsrichtlinien soweit sinnvoll und möglich mit einfließen zu lassen.

6.2 Realisierung des Baukastensystems

Die Realisierung des Baukastensystems erfolgt nach den Überlegungen aus Kapitel 5.8. In Abbildung 45 ist eine Einteilung der Montageeinheiten zu den einzelnen Ausführungen des Baukastensystems dargestellt. Hierbei ist im unteren rechten Eck die

Zuteilung zu der jeweiligen Ausführung des Baukastens zu sehen. Diese erfolgt für folgende unterschiedliche Ausführungen mit den Abkürzungen:

- Tragausführung TR
- Niederhalteausführung NH
- Kombiausführung KB
- Kombiausführung mit Positionsüberwachung KB-Pos und
- Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung GK.

Als übergeordnetes Element wird der montierte Gleitschuh auf dem Seilabhebebock gesehen. Auf der darunterliegenden Ebene sind die Elemente zu sehen, deren Montage auf dem Seilabhebebock geschieht. Hierzu wird der vormontierte Gleitschuh mithilfe einer Klemmplatte und vier Schrauben am Seilabhebebock montiert. Des Weiteren werden bei diesem Schritt je nach Ausführung noch eine Schraubklemme sowie die Positionsüberwachungseinheiten montiert. Um den Gleitschuh vorzumontieren werden die unterschiedlichen Konsolen, die Kunststoffeinlagen und Seilzugeinheiten mit den dazu notwendigen Standard- und Normteilen vormontiert.

Des Weiteren unterscheiden sich die unterschiedlichen Konsolen teilweise für die einzelnen Ausführungen in Bezug auf deren Geometrie, da zum Teil andere Funktionen erfüllt werden müssen. So muss zum Beispiel für die Kombiausführungen sowohl eine Trag- als auch eine Niederhaltefunktion gewährleistet werden und für die Ausführung mit Klemme muss diese Klemme montiert und demontiert werden können. Bei den unterschiedlichen Konsolen handelt es sich um Schweißbaugruppen.

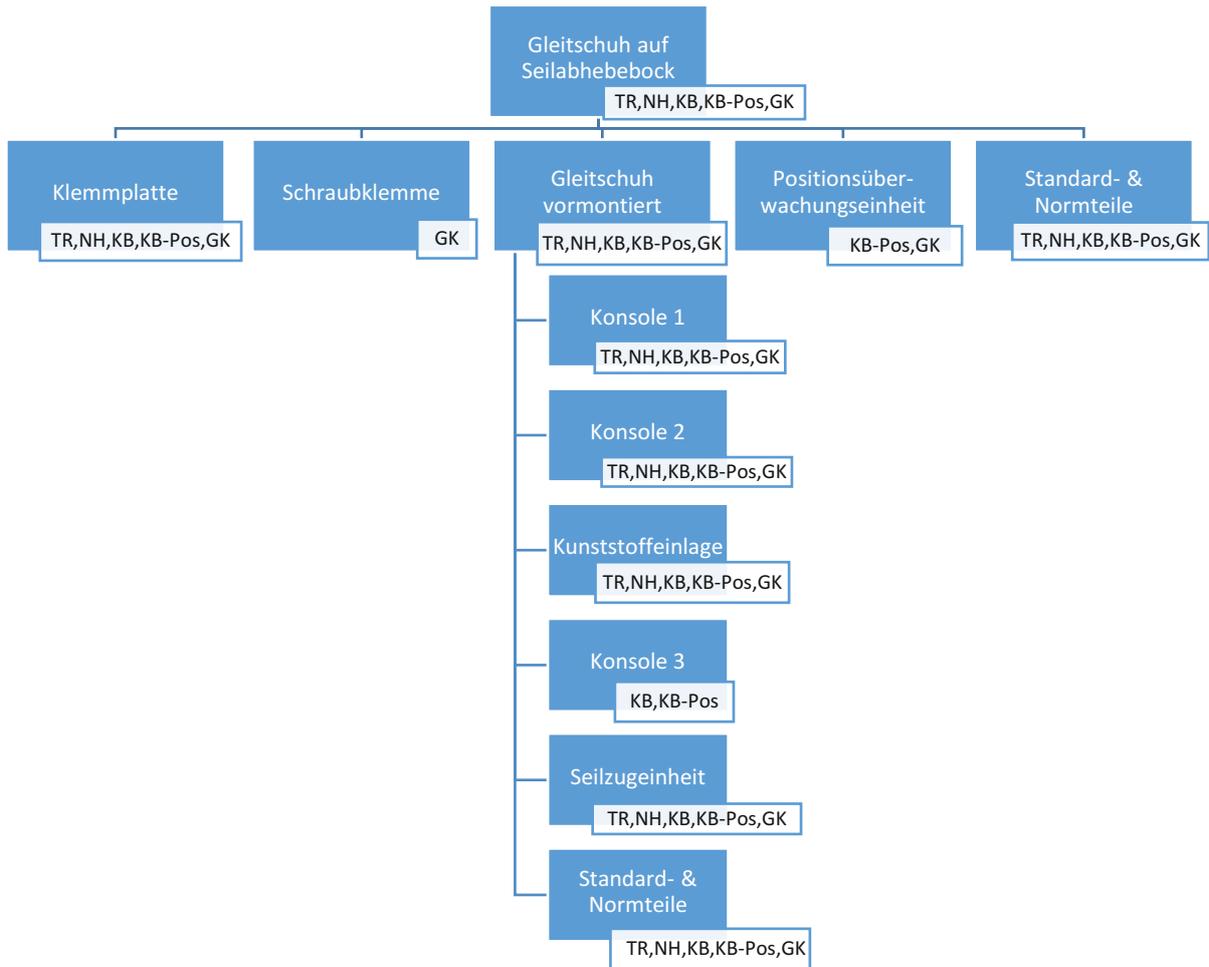


Abbildung 45: Baukastensystem mit Montageeinheiten

6.3 Wichtige Funktionsträger

Im Folgenden werden noch einige wichtige Funktionsträger beschrieben. Wobei hier im speziellen auf die Kunststoffeinlage, die Lösung zur Anpassung an den Seilverlauf, die Positionsüberwachungseinheit, die Lösung zum Verhindern eines zu starken Rutschens des Seils sowie auf die Seilzugeinheit eingegangen wird.

6.3.1 Kunststoffeinlage

Die Kunststoffeinlage (siehe Abbildung 46) wurde so ausgelegt, dass das Seil möglichst schonend aufgenommen und geführt wird. Als Werkstoff wurde PA6G gewählt, da dieser Werkstoff besonders gute Eigenschaften in Bezug auf den Kontakt mit dem Seil und den Anforderungen der Anforderungsliste wie z.B. Verschleiß- und Witterungsbeständigkeit aufweist. Die Kunststoffeinlage besitzt eine Rille, welche an die geforderten Toleranzen angepasst ist und welche das Seil bis zu einem Ablenkwinkel von 20° aufnehmen und führen kann. Des Weiteren ist ein kurzes gerades Stück in der Kunststoffeinlage vorgesehen, um die Auflagelänge besonders bei Seilverläufen mit sehr kleinen Ein- und

Auslaufwinkeln zu vergrößern, da sich diese Seilverläufe in der Analyse als teilweise kritisch herausgestellt hatten. Durch die so erzeugte größere Auflagelänge und die angepasste Rillenform entsteht ein größerer Auflagebereich als bei der bisherigen Auflage und somit werden die Pressungen stark herabgesetzt. Durch die Abminderung der Flächenpressung sinkt auch die Verschleißgefahr. Des Weiteren wurde versucht, für die Kunststoffeinlage eine Trompetenform für den Seileinlauf bzw. -auslauf zu konstruieren. Aufgrund der geometrischen Anforderungen an die Rillengeometrie und dem Wunsch nach einer nicht zu großen Lösung konnte dies nur für einen Winkelbereich von 0 bis ca. $7,5^\circ$ gut erfüllt werden. Durch die Trompetenform soll eine Auslenkung des Seils in horizontaler Richtung leichter möglich sein, ohne dass eine zu starke Krümmung des Seils auftritt. Da es sich hierbei aber nur um eine Zusatzfunktion für eine kurzzeitige Auslenkung handelt, genügt die so ausgeführte Lösung. Die Priorisierung der Belastungen erfolgte auf die vertikalen Belastungen.

Es ist zu erkennen, dass die Kunststoffeinlage drei Bohrungen besitzt. Für die Anpassung an den Seilverlauf wird die Kunststoffeinlage durch zwei dieser drei Bohrungen, einer der großen und der kleinen Bohrung, mit den Konsolen 1 und 2 in dem geeigneten Einstellwinkel verschraubt.

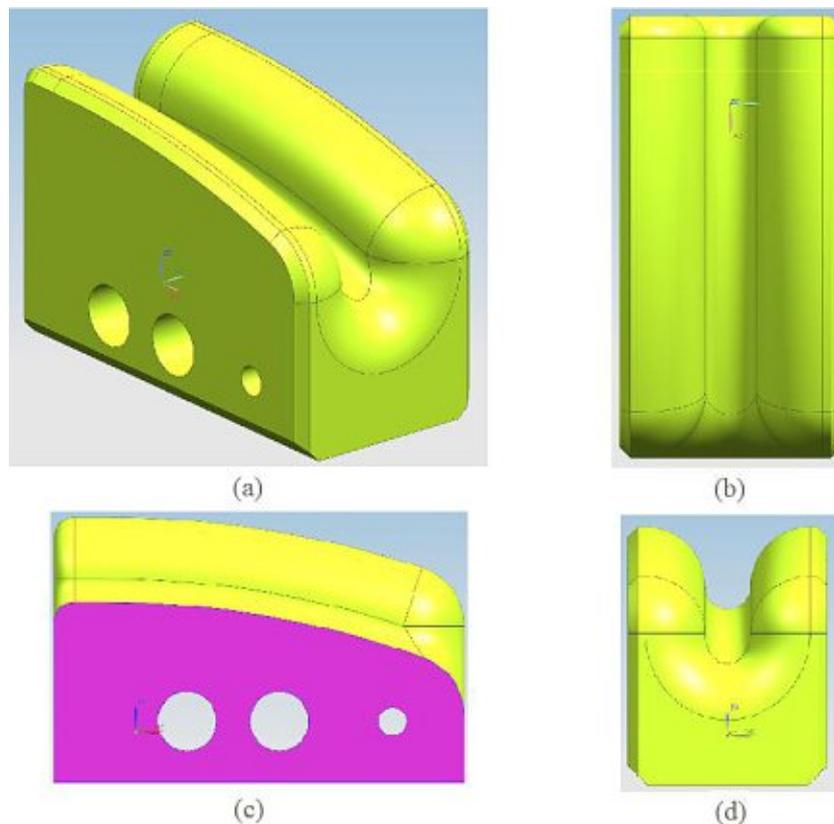


Abbildung 46: Kunststoffeinlage; Isometrische Ansicht (a), Ansicht von oben (b), Längsschnitt (c) und Ansicht von vorne (d)

6.3.2 Anpassung an Seilverlauf

Für die Anpassung des Seilschuhs an den Seilverlauf wurden unterschiedliche Lösungsvarianten erarbeitet. Es wurden Grobentwürfe einer einstellbaren Lösung, einer drehbar gelagerten Lösung sowie eine Kombination aus Voreinstellung und in einem kleinen Bereich pendelnd gelagerten Lösung erarbeitet. Es stellte sich heraus, dass die Lösung mit der fixen Einstellung bevorzugt wird, da die anderen Lösungen teils kritisch eingestuft oder in der Auslegung nicht bevorzugt wurden. Des Weiteren stellt diese Lösung die sicherste Lösung dar.

Es wurde entschieden, dass die Anpassung an den Seilverlauf in einem feineren Bereich als bisher erfolgen soll, da so eine bessere Anpassung an den Stützendruckwinkel erfolgen kann und das Seil gleichmäßiger auf den beiden Kunststoffeinlagen aufliegt. Aufgrund der geometrischen Gegebenheiten und den Anforderungen bzgl. Festigkeit wurde eine Lösung erarbeitet, bei der auf der linken Seite von Konsole 1 (siehe Abbildung 47) eine Schraube verwendet wird und die Anpassung an den Seilverlauf durch eine zweite Schraube, welche in eine von zwei unterschiedliche Bohrreihen gesteckt und mit Konsole 2 verschraubt wird, erfolgt. Somit erfolgt die Anpassung an den Seilverlauf stufenweise in dem geforderten Bereich von 0° bis 15° mit einer Stufung von $2,5^\circ$. Bei diesem Winkel handelt es sich um den Einstellwinkel des Seilschuhs auf den Stützen. In der ersten Bohrreihe befinden sich die Stufen 0° , 5° , 10° und 15° und in der zweiten Bohrreihe die Stufen $2,5^\circ$, $7,5^\circ$ und $12,5^\circ$. In Abbildung 47 ist die vormontierte Tragausführung in den unterschiedlichen Stellungen des Einstellwinkels dargestellt, wobei hier zu erkennen ist, wie die Verschraubung für die jeweiligen Einstellwinkel erfolgen soll.

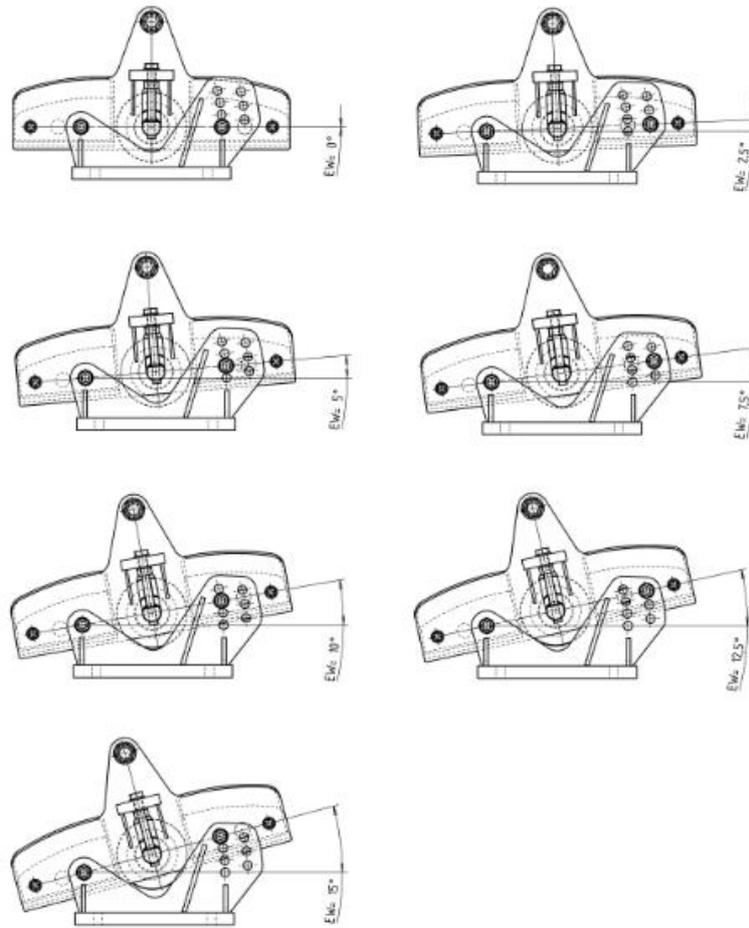


Abbildung 47: Anpassung an Seilverlauf

6.3.3 Positionsüberwachungseinheit

Zur Überwachung einer zu starken Verschiebung des Seils in Seilrichtung wurde als Schutzsystem der Einsatz von Bruchstabschaltern ausgewählt. Es wurde entschieden, Bruchstabschalter zu verwenden, da sich diese bisher im Seilbahnbau als zuverlässige Lösung bewährt haben.

Um eine Verschiebung des Seils in beide Richtungen überwachen zu können, werden hierzu jeweils am Seilschuh am Seileinlauf bzw. Seilauflauf je ein Bruchstabschalter und am Seil an den beiden anliegenden Seilfeldern je ein Schaltring in einem Abstand von 100 mm zum Bruchstabschalter montiert. Diese Schaltringe sollen bei einer zu starken Verschiebung des Seils den Bruchstabschalter auslösen. Falls notwendig kann in einem solchen Fall die Bahn leergefahren und oder zum Stillstand gebracht werden. In Abbildung 51 (b) und Abbildung 52 sind die Positionsüberwachungseinheiten an den montierten Seilschuhen zu sehen. Um die Überwachung für die unterschiedlichen Seileinlauf- und Auslaufwinkel zu gewährleisten, sind an den Haltevorrichtungen für den Bruchstabschalter entsprechende Langlöcher vorgesehen. Somit kann der

Bruchstabschalter für die unterschiedlichen Seileinläufe und Seilaufläufe in der entsprechenden Position angebracht werden. Das Schutzsystem ist so ausgelegt, dass es bei einer Verschiebung des Seils in Seilrichtung von mehr als 100 mm auslöst.

6.3.4 Seil an zu starkem Rutschen hindern

Als Lösung für die Funktion, die dazu dienen soll, das Seil an einem zu starken Rutschen zu hindern, wurde eine Schraubklemme ausgeführt (siehe Abbildung 48). Hierbei wird die Schraubklemme mittig zwischen den zwei Kunststoffeinslagen montiert und mit einer Klemmkraft von ca. 30 kN angezogen. Kommt es zu einem Rutschen des Seils, steht die Klemme an einem angeschweißten Blechteil an und soll das Seil an einem weiteren Rutschen hindern. Damit das Seil aber nicht beschädigt wird und keine zu hohen horizontalen Kräfte auf die Stütze wirken, soll die Klemme das Seil nur bis zu einer Seilkraftdifferenz von ca. 30 kN zurückhalten. Wird die Differenz größer, soll das Seil durch die Klemme rutschen können. Aufgrund dieser Anforderungen wurden die Klemmkraft in der Berechnung in Bezug auf die Sicherheit gegen Rutschen auf einen Wert von ca. eins ausgelegt.

Die Schraubklemme besteht aus zwei Klemmstücken, wobei nach Norm auf einem der beiden Klemmstücke der Seilnennendurchmesser stehen muss. Diese zwei Klemmstücke werden durch vier Schrauben mit je einer Tellerfedersäule, bestehend aus je 4 Tellerfedern, am Seil verschraubt. Die Einstellung der Klemmkraft erfolgt über den Federweg der vorhandenen Tellerfedersäulen.

Des Weiteren wurden die Klemmen aufgrund der neuen Anforderungen an die Klemmgeometrie und die Einhaltung der geforderten Pressungen, sowie durch die Norm vorgegebenen Anforderungen neu ausgelegt und den Anforderungen angepasst.

Bei der Schraubklemme handelt es sich nach Pahl & Beitz (2005, S. 307) um ein Schutzorgan, welches ein technisches Gebilde darstellt, das aufgrund dessen Funktionsfähigkeit ohne Signalumsatz in der Lage ist, eine Schutzfunktion auszuüben.

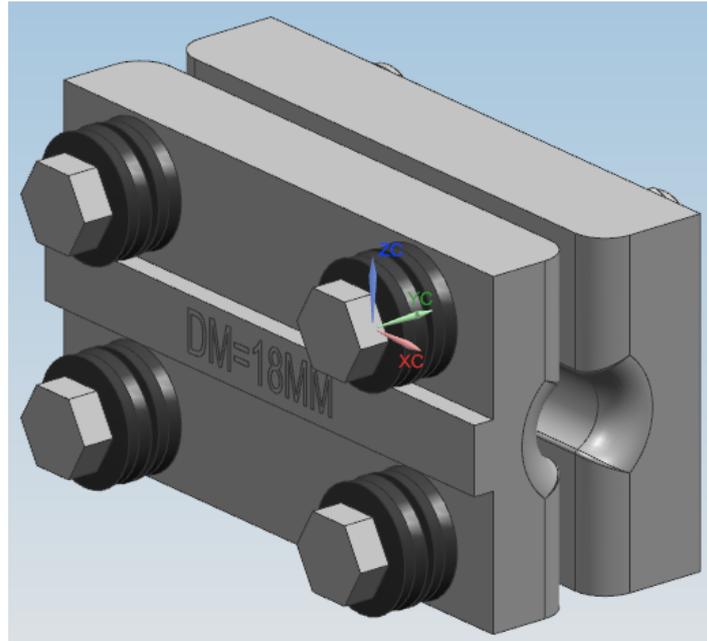


Abbildung 48: Zusammengebaute Schraubklemme ohne Seil

6.3.5 Einziehen des Seils ermöglichen

Um das Einziehen des Seils ermöglichen zu können sowie das Seil, wenn nötig versetzen oder nach einer ungewollten Verschiebung wieder in seine ursprüngliche Position zu bringen, wird das bisher verwendete System benutzt. Hierbei kann eine Montagerolle durch zwei Schrauben in eine entsprechende Position ausgefahren werden, damit das Seil über die Montagerolle gezogen werden kann. Je nach Seilverlauf und ausgeführter Lösung muss die Rolle in die entsprechende Position gebracht werden. Wenn diese Arbeiten abgeschlossen sind, soll die Rolle wieder in die ursprüngliche Position gebracht werden, damit das Seil während des Betriebs über die Kunststoffeinslagen aufgenommen und geführt wird. In Abbildung 49 sind die Positionen der Seilrolle für die Tragauführung im Betrieb (a) und während des Einziehens des Seils (b) dargestellt.

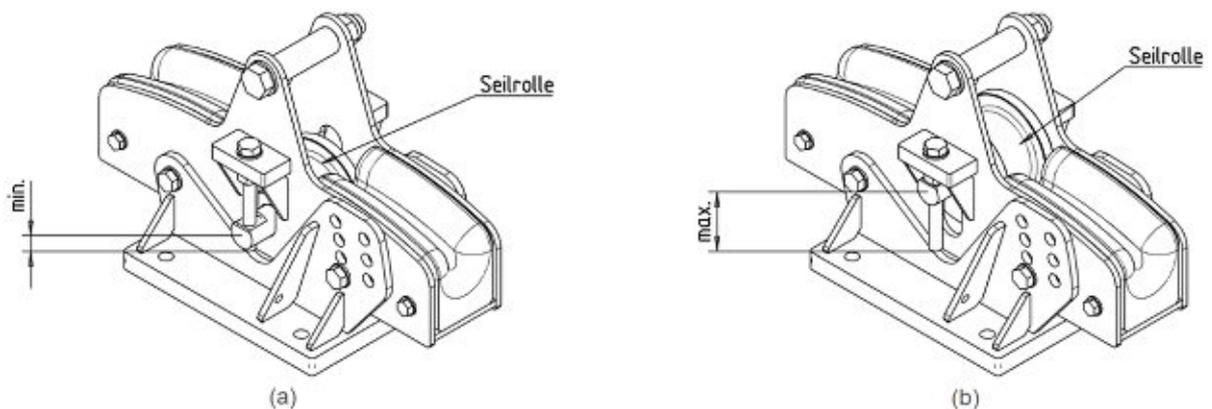


Abbildung 49: Position der Seilrolle für Betrieb (a) und das Einziehen des Seils (b) für die Tragauführung

6.4 Lösungen

Alle für die Lösung ausgeführten Bauteile wurden so ausgelegt, dass sie den Grundregeln der Gestaltung genügen. In Bezug auf die Einfachheit wurden die Lösungen so erarbeitet, dass die Bauteile möglichst einfach gestaltet sind, damit bei der Fertigung keine zu hohen Kosten durch komplexe Fertigungsverfahren und eine große Anzahl an Arbeitsschritten entstehen. Der Großteil der erarbeiteten Stahlteile ist zum Beispiel so ausgelegt, dass deren Fertigung rein durch Brenn- oder Laserschneiden erfolgen soll und keine weiteren Bearbeitungsschritte notwendig sind. Des Weiteren wurde versucht, Lösungen mit möglichst wenig Teilen zu erarbeiten.

In Bezug auf die Grundregel der Eindeutigkeit soll das Seil z.B. während des Seilzugs über die vorgesehenen Montagerollen ablaufen und während des Betriebs soll nur noch Kontakt zwischen den Kunststoffteilen und dem Seil bestehen.

In Bezug auf die Sicherheit wurde in der Auslegung das Prinzip des sicheren Bestehens angestrebt. Des Weiteren wurde versucht, möglichst viele Norm- und Standardteile zu verwenden.

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen wurden die Konsolen 1, 2 und 3 für die unterschiedlichen Varianten angepasst. Wobei jeweils für die Trag- und Niederhalteausführung, für die zwei Kombiausführungen sowie für die Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung je eine Variante für die Konsole 1 erarbeitet wurde. Konsole 2 unterscheidet sich für die Trag- und Niederhalteausführung nicht voneinander, jedoch unterscheiden sich die Konsolen 2 für alle anderen Ausführung in Geometrie oder in Bezug auf die verwendeten Teile. Bei all diesen Konsolen handelt es sich um Schweißbaugruppen. Bei diesen Baugruppen wurde bei der Gestaltung besonders auf Korrosionsbeständigkeit geachtet. Des Weiteren werden die Baugruppen nach dem Schweißen noch feuerverzinkt.

Die Kontrolle des Seils und die Wartung können aufgrund der geometrischen Anforderungen nicht vereinfacht werden.

In der Entwurfsphase wurde auch eine Berechnung zur Auslegung der Teile erstellt. Für die Berechnung wurde hierbei eine statische Lastannahme getroffen, da es keine Werte für eine dynamische Lastannahme gab und eine Abschätzung solcher Werte nicht sinnvoll bzw. zu unsicher erschien. Aus diesem Grund wurde mit erhöhten Werten gerechnet. Für die Stützendruckkraft wurde eine Kraft von 90 kN unter einem Druckwinkel von 15° und für die Windkraft eine horizontale Kraft von 30 kN angenommen. Aufgrund dieser Windkraft wurden Verstärkungsrippen zur Aufnahme der Windlasten an den Seiten von Konsole 1 angebracht. Die Berechnung erfolgte sowohl

für die oben genannten Kräfte und zusätzlich noch für ein Anschlagen der Schraubklemme.

Im Folgenden werden die erarbeiteten Lösungen beschrieben. Alle Lösungen sind so aufgebaut, dass der vormontierte Seilschuh mit vier Schrauben und einer Klemmplatte am Profil des Seilabhebebocks befestigt werden soll.

In den Abbildungen 48 bis 50 sind die unterschiedlichen Lösungen in isometrischen Ansichten auf einem Teilstück des Seilabhebebocks dargestellt. Alle Lösungen sind mit einem Einstellwinkel von 0° dargestellt. Es wurde besonders darauf geachtet, dass bei allen Lösungen das Seil nur mit dem verwendeten Kunststoff in Kontakt tritt und dass es zu keinen zu starken Biegungen des Seils kommen kann.

6.4.1 Trag- und Niederhalteausführung

In Abbildung 50 sind die Tragausführung (a) und Niederhalteausführung (b) dargestellt. Diese zwei Ausführungen unterscheiden sich hinsichtlich der eingesetzten Bauteile nur darin, dass bei der Niederhalteausführung eine zweite Montagerolle vorgesehen ist, um den Seilzug für jeden möglichen Seilverlauf zu ermöglichen. Beide Lösungen bestehen aus zwei Schweißkonstruktionen (Konsole 1 und 2), zwei Kunststoffeinlagen, welche durch Schrauben in den notwendigen Stellungen zusammengebaut werden sowie der Seilzugeinheit.

Wie zu sehen ist, wird die Niederhalteausführung im Vergleich zur Tragausführung auf dem Kopf stehend montiert. Somit kann eine Niederhaltefunktion des Seils ohne große konstruktive Änderungen gewährleistet werden.

In Abbildung 50 (a) ist des Weiteren noch ein Kabel zur Erdung schematisch dargestellt. Dieses Kabel verbindet das Lufthängekabel und den Seilschuh und dient dem Potentialausgleich. Die Erdung erfolgt bei allen Lösungen auf die gleich Art.

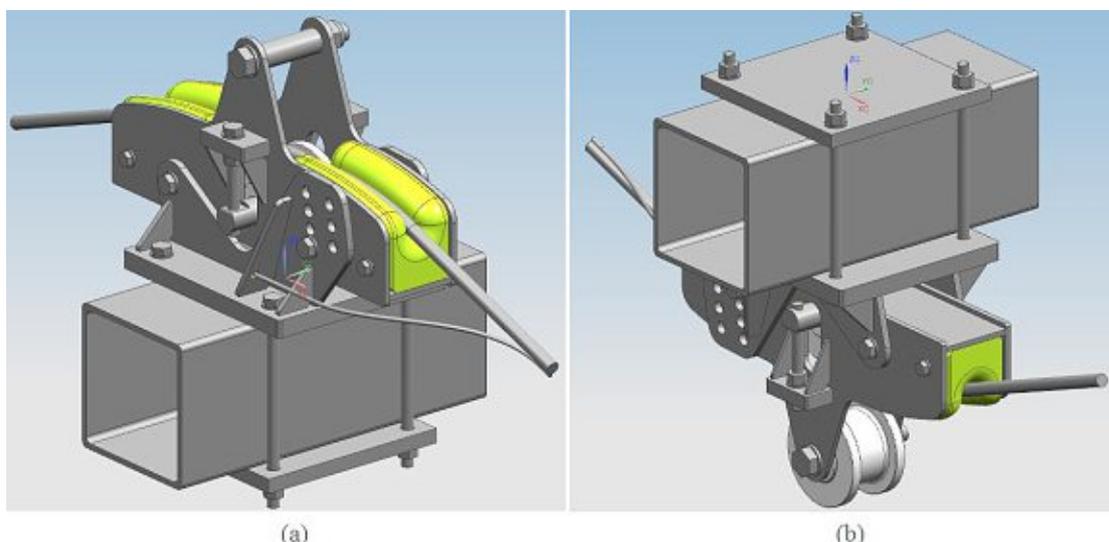


Abbildung 50: Tragausführung (a) und Niederhalteausführung (b)

6.4.2 Kombiausführung ohne und mit Positionsüberwachungseinheit

In Abbildung 51 sind die Kombiausführung (a) und die Kombiausführung mit Positionsüberwachungseinheit (b) dargestellt. Der Unterschied dieser zwei Lösungen besteht darin, dass bei der Kombiausführung mit Positionsüberwachungseinheit bei den Konsolen 2 und 3 zusätzliche Bleche für die Anbringung der Positionsüberwachungseinheit angeschweißt werden und diese Lösung eine Positionsüberwachungseinheit besitzt. Sonst werden für beide Ausführungen die gleichen Bauteile verwendet.

Bei der Kombiausführung ist es gewünscht, dass die Lösung sowohl eine Trag- als auch Niederhaltefunktion erfüllen kann. Deshalb werden bei diesen Lösungen zwei Schweißkonstruktionen mit je zwei Kunststoffeinlagen so miteinander verschraubt, dass sowohl die Trag- als auch die Niederhaltefunktion des Lufthängekabels gewährleistet wird. Hierzu wurde eine andere Ausführung der Konsole 2 erarbeitet. In Abbildung 51 ist nur die Tragfunktion dargestellt. Bei der Niederhaltefunktion wird das Lufthängekabel durch die zwei oberen Kunststoffeinlagen aufgenommen und geführt. Des Weiteren werden bei der Kombiausführung zwei Montagerollen benötigt, um den Seilzug für jedmöglichen Seilverlauf zu gewährleisten.

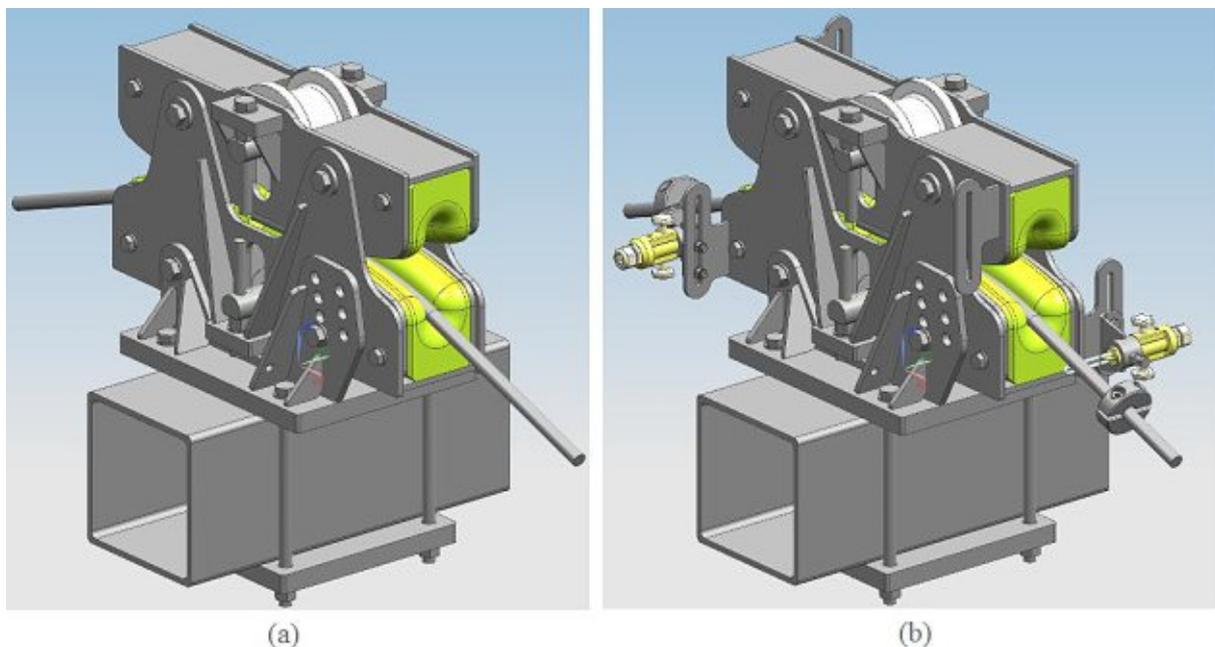


Abbildung 51: Kombiausführung (a) und Kombiausführung mit Positionsüberwachungseinheit

6.4.3 Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachungseinheit

Für die Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachungseinheit wurde die Lösung wie in Abbildung 52 dargestellt erarbeitet. Die Lösung besteht aus den Konsolen 1 und 2, wobei hier eine spezielle Ausführung für die Konsole 2 erarbeitet wurde. Diese ist zum einen etwas länger als die anderen Varianten dieser Konsole, da hier genügend Platz für

die Schraubklemme vorgesehen werden muss. Zusätzlich werden noch Haltebleche für die Positionsüberwachungseinheit an Konsole 2 verschweißt. Bei dieser Lösung werden zusätzlich noch zwei Kunststoffeinlagen, eine Schraubklemme sowie zwei Positionsüberwachungseinheiten verbaut.

Die Schraubklemme kann durch die Öffnungen in der Konsole 2 mit einem Schraubenschlüssel montiert und demontiert werden.

Es ist zu erkennen, dass für diese Lösung eine spezielle etwas höhere Ausführung der Konsole 1 erarbeitet wurde. Dies war nötig, da hier sowohl die Rolle für den Seilzug als auch die Klemme Platz haben müssen.

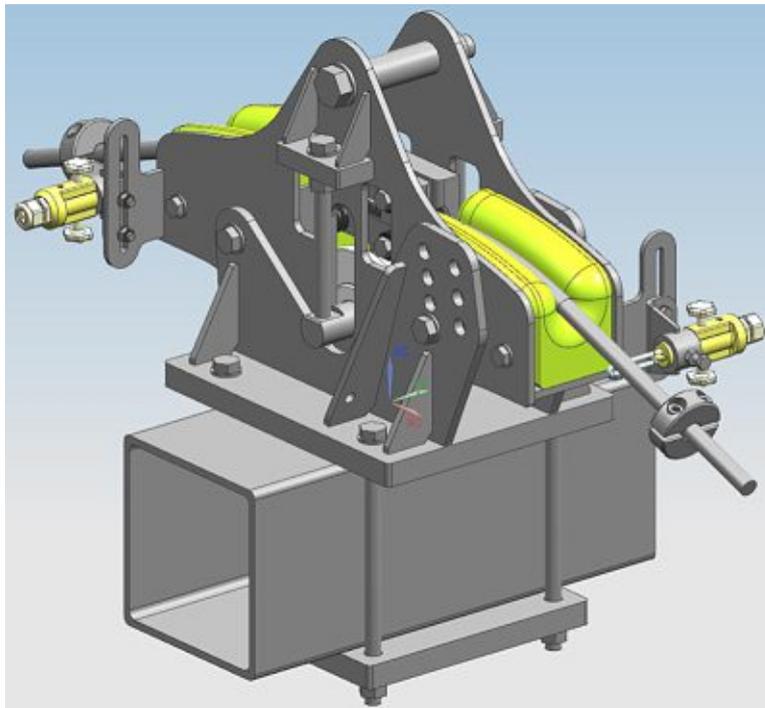


Abbildung 52: Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachungseinheit

6.5 Bewerten der Lösungen

In Tabelle 12 ist noch die Bewertung der Lösungen nach den technischen Kriterien sowohl ohne Gewichtung als auch mit Gewichtung zu sehen.

Bei der Gewichtung ist zu erkennen, dass die Eignung für große Lasten und eine seilschonende Führung mit einer Gewichtung von jeweils 3 einen viel größeren Einfluss auf die Bewertung als die anderen Bewertungskriterien besitzen. Dies wurde so entschieden, da diese zwei Punkte für die Lösung besonders wichtig sind. Die anderen Bewertungskriterien wurden als gleich bzw. ähnlich wichtig empfunden und haben deshalb eine Gewichtung von 1.

Als Bewertungskriterien wurden neben den bereits erwähnten noch die Anpassung an den Seilverlauf, die Einhaltung des Raumbedarfs, eine geringe Anzahl an Teilen, eine einfache Fertigung, eine leichte Montage des Seilschuhs, ein leichter Seilzug, die Korrosionsbeständigkeit, eine einfache Wartung und Kontrolle sowie der Einsatz von möglichst vielen Standard- und Normteilen ausgewählt.

Es ist zu erkennen, dass sowohl die Bewertung ohne Gewichtung als auch die gewichtete Bewertung einen hohen Gesamtwert aufweisen und dass die Lösung keine augenscheinlichen Schwachstellen in Bezug auf die Bewertungskriterien aufweisen.

Bewertungskriterien			Lösung	
Nr.		Gewichtung	Wert	gewichteter Wert
1	Geeignet für große Lasten	3	4	12
2	Seilschonende Führung	3	3	9
3	Anpassung an den Seilverlauf	1	3	3
4	Einhaltung des Raumbedarfs	1	4	4
5	Wenig Teile	1	4	4
6	Einfache Fertigung	1	3	3
7	Leichte Montage	1	3	3
8	Leichter Seilzug	1	3	3
9	Korrosionsbeständigkeit	1	4	4
10	Einfache Wartung / Kontrolle Zugänglichkeit	1	4	4
11	Einsatz von Standard- & Normteilen wenn möglich	1	4	4
		G	39	53
		W	0,89	0,88

Tabelle 12: Bewertung der Lösung

Des Weiteren erfüllen die Ausführungen alle Forderungen der Anforderungsliste. In Bezug auf die Wünsche, wird ebenfalls der Großteil wie zum Beispiel die gewünschten Ein- und Ausgangsradien der Kunststoffteile und eine einfache Montage erfüllt. Die Wünsche in Bezug auf maximale Höhe und Länge konnten jedoch nicht erfüllt werden, da diese durch die neuen geometrischen Anforderungen nicht realisiert werden konnten. Dies stellt aber kein Problem dar, da die Vorteile durch die längere und höhere Lösung größer sind als die daraus entstehenden Nachteile.

Des Weiteren kann ein Versetzen der Seile nicht ausgeschlossen werden. Hier muss jedoch gesagt werden, dass es seitens des Seilherstellers keine genauen Angaben zu einem Ausschließen des Versetzens gab. Es wurde nur erwähnt, dass vom Versetzen abgesehen werden kann, wenn die Pressungen und Seilschwingungen den Vorgaben entsprechen. Jedoch wurden keine Vorgaben bezüglich der zulässigen Schwingungen

gemacht. In Bezug auf die Pressungen kann gesagt werden, dass diese mit der neuen Konstruktion kein Problem mehr darstellen sollten.

7 Entwicklung der Baureihe

Die soweit entwickelten Ausführungen des Baukastens sollen als Baureihe für die unterschiedlichen Seildurchmesser und Seiltypen erweitert werden. Unter einer Baureihe werden nach Pahl & Beitz (2005, S. 600) technische Gebilde verstanden, die dieselbe Funktion, mit der gleichen Lösung, in mehreren Größenstufen und bei möglichst gleicher Fertigung in einem weiten Anwendungsbereich erfüllen.

Um die komplette Baureihe zu erarbeiten, wurden zuerst ausgehend von der kleinsten und größten Variante der Kunststoffeinlage die unterschiedlichen Einzelteile der Konsolen 2 und 3 angepasst und diese dann wieder zu den Schweißbaugruppen zusammengebaut. Anschließend wurden die kompletten Baugruppen zusammengestellt und auf Fehler überprüft. Sofern Fehler aufgetreten sind, wurden diese ausgebessert. Ausgehend von diesen Lösungen wurden dann die anderen Größenstufen erarbeitet.

Um die Variantenvielzahl einzuschränken wurde entschieden, dass für alle verwendeten offenen Spiralseile ohne innenliegendem Lichtwellenleiter (LWL) die gleichen Ausführungen der jeweiligen Konsolen 1, 2 und 3 sowie die gleichen Standard- und Normteile benutzt werden. Hier wird für die unterschiedlichen Seildurchmesser je eine spezielle Kunststoffeinlage gefertigt, die den Anforderungen bezüglich Rillengeometrie und Mindest-D/d-Verhältnis von 40 genügen. Für das Seil mit einem Nenndurchmesser von 14 mm und mit innenliegendem Lichtwellenleiter werden auch diese Teile verwendet, da sich aufgrund des dafür geforderten Mindest-D/d-Verhältnisses von 65 sehr ähnliche Abmessungen in Bezug auf den Rillengrunddurchmesser und die sich daraus ergebene Gesamtlänge ergeben. Die Länge der Kunststoffeinlage wurde somit auf das D/d-Verhältnis von 65 für ein Seilnenndurchmesser von 14 ausgelegt. Daraus ergibt sich für die Kunststoffeinlage mit einem Rillengrundradius von 455 mm eine Länge von 200 mm. In Tabelle 13 sind die daraus folgenden D/d-Verhältnisse für den Rillengrundradius von 455 mm aufgelistet. Es ist zu erkennen, dass sich für die Seilnenndurchmesser von 16 bis 22 mm größere D/d-Verhältnisse als das geforderte Mindest-D/d-Verhältnis von 40 ergeben. Dies wirkt sich positiv auf die Lebensdauer der verwendeten Seile aus. Alle ausgelegten Kunststoffeinlagen für die offenen Spiralseile und das offene Spiralseil mit innenliegendem LWL besitzen die gleichen Abmessungen für Länge, Breite und Höhe. Sie unterscheiden sich in der Geometrie der Rille.

Seilnennendurchmesser	Rillengrundradius	D/d-Verhältnis
mm	mm	mm
14	455	65,0
16	455	56,9
18	455	50,6
20	455	45,5
22	455	41,4

Tabelle 13: D/d-Verhältnisse

Die Abstufung für die offenen Spiralseile mit innenliegendem Lichtwellenleiter (OSS mit LWL) mit den Seilnennendurchmessern von 16 bis 22 mm erfolgt anhand des D/d-Verhältnisses von 65. Daraus ergeben sich die in Tabelle 14 dargestellten Rillengrundradien, die zur weiteren Auslegung der Baureihe für die offenen Spiralseile mit innenliegendem LWL dient. Die so erarbeitete Baureihe besitzt die gleichen Abmessungen für die Gesamthöhe und -breite der Kunststoffeinlage. Sie unterscheiden sich jedoch in Länge, Rillengrunddurchmesser und Geometrie der Rille.

Seilnennendurchmesser	D/d-Verhältnis	Rillengrundradius
mm	Mm	mm
16	65	520
18	65	585
20	65	650
22	65	715

Tabelle 14: Rillengrundradius für D/d-Verhältnis von 65 für OSS mit LWL

Die Länge der Kunststoffeinlagen kann mit Formel (19) berechnet werden. In dieser Formel steht R für den Rillengrundradius, die 30 mm stammen vom Einlaufradius und die 25 mm sind die Summe von geradem Stück und dem zweiten vorhanden Radius (siehe Abbildung 53).

$$L = R \cdot \sin 20^\circ + 30\text{mm} \cdot (1 - \sin 20^\circ) + 25\text{mm} \quad (19)$$

In Abbildung 53 ist die Kunststoffeinlage mit den sich ändernden Hauptwerten für die Baureihe dargestellt. Hierbei wird unter d der angepasste Rillendurchmesser, R der Rillengrundradius, H die Höhe des Rillengrundes, L die Gesamtlänge der Kunststoffeinlage und L1 der Abstand der Bohrungen verstanden. Bei den Abmessungen, die in Abbildung 53 nicht dargestellt sind, handelt es sich entweder um fixe Werte wie zum Beispiel die Gesamtbreite und Gesamthöhe oder um Werte, die sich aufgrund der oben genannten Hauptwerte ergeben.

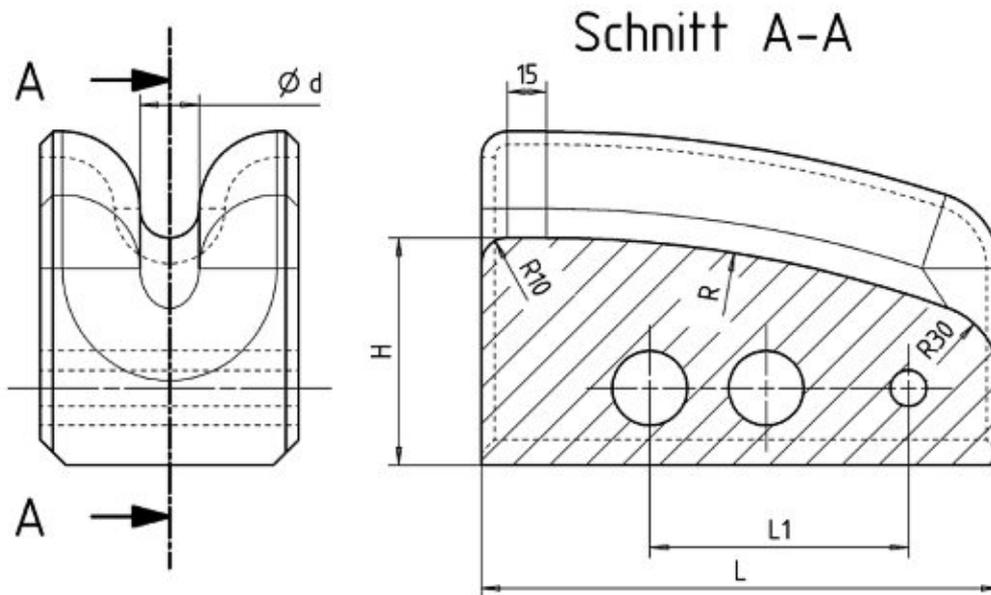


Abbildung 53: Sich ändernde Hauptwerte der Kunststoffeinlage

Ausgehend von den sich daraus ergebenden Abmessungen wurden die restlichen Bauteile entsprechend angepasst.

Die Gesamtlänge L_g für die Konsolen 2 und 3 kann mit Formel (20) berechnet werden. In dieser Formel steht L für die Länge der Kunststoffeinlage und s für den Abstand zwischen den Kunststoffeinlagen. Dieser entspricht für die Trag-, Niederhalte- und die beiden Kombiausführungen 150 mm und für die Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung 170 mm. Wobei die 150 mm benötigt werden, damit genügend Platz für die Montagerolle vorhanden ist und die 170 mm damit genügend Platz für die Schraubklemmen vorhanden ist und diese sich auch noch leicht bewegen können. Die so berechnete Gesamtlänge entspricht auch der Gesamtlänge der Gleitschuhe.

$$L_g = 2 \cdot L + s \quad (20)$$

Die Schraubklemmen wurden so ausgelegt, dass sie für die jeweiligen Seilennendurchmesser sowohl für offene Spiralseile als auch für offene Spiralseile mit innenliegendem Lichtwellenleiter eingesetzt werden können und hier nicht nochmals je Seiltyp zusätzliche unterschiedliche Bauteile benötigt werden.

In Abbildung 54 sind noch die größte und kleinste Variante der Tragausführung in je eine Ansicht von der Seite und von oben dargestellt. Die beiden dargestellten Seilschuhe besitzen dieselbe Gesamthöhe und Gesamtbreite. Sie unterscheiden sich jedoch in der Gesamtlänge L_g des Seilschuhs. Die Ausführungen für die offenen Spiralseile und das offene Spiralseil mit innenliegendem Lichtwellenleiter und einem

Seilnennendurchmesser von 14 mm besitzen eine Gesamtlänge von 550 mm und die längste Tragauführung besitzt eine Gesamtlänge von 729 mm. Die Längen der restlichen Ausführung liegen zwischen diesen Werten. Analoges gilt für die anderen Ausführungen, wobei die Ausführungen mit Klemme und Positionsüberwachungseinheit jeweils um 20 mm länger sind.

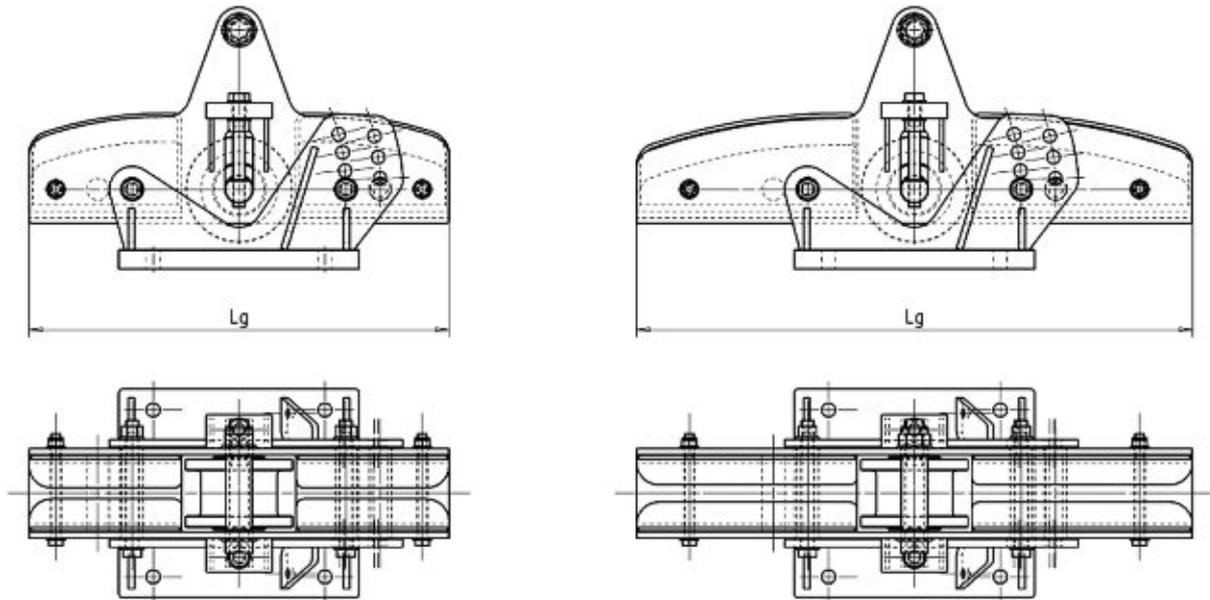


Abbildung 54: kleinste und größte Stufeung der Tragauführung

Aus der Baureihe ergeben sich insgesamt 45 unterschiedliche Seilschuhe, siehe Tabelle 15. Wobei hier zwischen 5 unterschiedlichen Ausführungsformen des Baukastensystems unterschieden wird, welche an insgesamt 9 unterschiedliche Kombinationen zwischen Seiltyp und Seildurchmesser angepasst sind. Die Ausführungen unterscheiden sich hierbei, wie in Kapitel 6.4 beschrieben, wobei sich die Ausführungen für die unterschiedlichen offenen Spiralseile mit innenliegendem Lichtwellenleiter jeweils in der Größenstufe unterscheiden. Für die Ausführungen der unterschiedlichen offenen Spiralseile wird jeweils die Größenstufe der Ausführung für das offene Spiralseil mit innenliegendem Lichtwellenleiter mit einem Durchmesser von 14 mm genommen und anstatt der Kunststoffeinlagen und der Schraubklemmen werden an den jeweiligen Seildurchmesser angepasste Varianten dieser Bauteile verwendet.

Ausführung	Offene Spiralseile mit LWL					Offene Spiralseile			
	Ø14	Ø16	Ø18	Ø20	Ø22	Ø16	Ø18	Ø20	Ø22
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Tragausführung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Niederhalteausführung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kombiausführung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kombiausführung mit Positionsüberwachung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabelle 15: Zuteilung der einzelnen Ausführungen

Tabelle 16 soll zur Unterscheidung zwischen den unterschiedlichen Varianten für die Ausführungen des Baukastensystems und den Größenstufungen dienen. Des Weiteren wird in der letzten Spalte die Gesamtanzahl der unterschiedlichen Teile angegeben. Hierbei wird nur auf die unterschiedlichen Konsolen, die Kunststoffeinlage und die Schraubklemme eingegangen. Die 45 unterschiedlichen Lösungen entstehen dabei durch die entsprechende Kombination der genannten Bauteile zum Baukasten. Insgesamt wurden 61 Einzelteile, 28 Schweißbaugruppen sowie 95 Zusammenstellungsbaugruppen erstellt.

Bauteil	Anzahl der Ausführungen	Anzahl der Größenstufen	Gesamtanzahl der unterschiedlichen Ausführungen und Größenstufen
Konsole 1	3	1	3
Konsole 2	4	5	20
Konsole 3	2	5	10
Kunststoffeinlage	1	9	9
Schraubklemme	1	5	5

Tabelle 16: Unterscheidung zwischen Varianten und Größenstufen

7.1 Berechnung der Pressungen für die neuen Seilschuhe

Im Zuge der Auslegung wurden die Pressungen anhand der Daten aus der Anlagenanalyse für die neuen Geometrien berechnet. Die Berechnung erfolgte sowohl mit den Formeln aus der Analyse, wobei nun bei der Formel (14) der Fatzer AG mit einem Abminderungsfaktor f von 0,8 gerechnet werden durfte, und mit den restlichen Formeln aus Kapitel 2.4. In Tabelle 17 sind die Maximal-, Minimal und Mittelwerte für die berechneten Pressungen dargestellt. Um die Werte vergleichen zu können, sind im

oberen Bereich der Tabelle nochmals die Werte aus der Analyse, vgl. Kapitel 3.5, zu sehen und im unteren Bereich der Tabelle befinden sich die Werte für die Pressungen für die neue angepasste Rille für die unterschiedlichen Formeln. Auf die Berechnung der Pressungen nach Formel (9) wurde verzichtet, da mit dieser Formel die gleichen Werte im Rillengrund wie mit Formel (8) berechnet werden.

Für den Kontaktwinkel zwischen Seil und Rille wurde für die Berechnung ein Wert von 106° angenommen. Dieser Winkel entspricht laut der Fatzer AG einem Abminderungsfaktor f von 0,8, welcher von der Fatzer AG als Kontaktwinkel für die erarbeitete Rillengeometrie angegeben wurde.

Die Pressungen wurden für die neue Geometrie der Rille für offen Spiralseile berechnet. Es ist zu erkennen, dass die somit berechneten Pressungen für die neue Geometrie wesentlich geringer als die Pressungen der alten Geometrie sind und diese Werte weit unter den geforderten maximal zulässigen Pressungen liegen.

Des Weiteren ist zu erkennen, dass die berechneten Pressungen für die neue Geometrie untereinander in einem ähnlichen Wertebereich liegen. Wobei die größten Werte mit Formel (8) und die kleinsten Werte mit Formel (4) berechnet wurden.

		Ø16	Ø18	Ø20	Ø22
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
Alte Geometrie					
p (14)	Maximum	183,09	154,38	162,38	171,66
	Minimum	0,19	3,25	2,07	3,26
	Mittelwert	54,47	68,38	76,13	68,47
p_{Hertz} (10)	Maximum	148,63	125,34	114,97	102,38
	Minimum	9,23	18,20	12,99	14,11
	Mittelwert	78,76	81,67	76,66	62,45
Neue Geometrie					
p (14)	Maximum	18,96	18,19	21,35	19,47
	Minimum	0,16	0,77	0,45	0,76
	Mittelwert	8,46	11,24	12,69	11,43
p_0 (10)	Maximum	21,00	20,68	22,41	21,40
	Minimum	1,98	4,27	3,27	4,22
	Mittelwert	13,66	15,95	16,82	15,86
p_{EN} (3)	Maximum	16,40	15,73	18,46	16,84
	Minimum	0,14	0,67	0,39	0,66
	Mittelwert	7,31	9,72	11,05	9,88
p_m (4)	Maximum	15,78	15,14	17,77	16,21
	Minimum	0,13	0,64	0,38	0,63
	Mittelwert	7,04	9,35	10,63	9,51
k (6)	Maximum	21,58	20,70	24,30	22,17
	Minimum	0,18	0,88	0,52	0,86
	Mittelwert	9,62	12,79	14,54	13,01
p_{max} (8)	Maximum	24,18	23,20	27,23	24,84
	Minimum	0,20	0,99	0,58	0,97
	Mittelwert	10,78	14,33	16,29	14,58

Tabelle 17: Pressungen für alte und neue Geometrie

Aufgrund der somit berechneten Pressungen kann angenommen werden, dass die Pressungen kein Problem mehr darstellen werden, da alle Werte weit unter den zulässigen Pressungen liegen.

Die Verbesserung der berechneten Pressungen kommen durch die Anpassung der Rillenform, die Anpassung an den Seilverlauf und das zusätzliche gerade Stück zustande, wobei die Anpassung der Rillenform an die gegebenen Anforderungen den größten Einfluss besitzt.

Werden dann noch - falls notwendig - die Maßnahmen zur Reduzierung von Seilschwingungen wie in Kapitel 2.5.7 eingesetzt und liefern diese den gewünschten Effekt, kann davon ausgegangen werden, dass auf das Versetzen der Seile verzichtet werden kann bzw. dass ein größeres Versetzintervall gewählt werden kann und somit Kosten eingespart werden können.

8 Ausarbeiten

Unter dem Ausarbeiten wird „der Teil des Konstruierens verstanden, welcher die Baustruktur eines technischen Gebildes durch endgültige Vorschriften für Form, Bemessung und Oberflächenbeschaffenheit aller Einzelteile, Festlegen aller Werkstoffe, Überprüfung der Herstellungs- und Gebrauchsmöglichkeit sowie der endgültigen Kosten ergänzt und die verbindlichen zeichnerischen und sonstigen Unterlagen für seine stoffliche Verwirklichung und Nutzung schafft“ (Pahl & Beitz, 2005, S. 522). In Abbildung 55 sind die Arbeitsschritte beim Ausarbeiten dargestellt.

Als Schwerpunkt der Ausarbeitungsphase wird das Erarbeiten der Fertigungsunterlagen, im speziellen der Einzelteil- oder Werkstatt-Zeichnungen, von Baugruppen-Zeichnungen, der Gesamt-Zeichnung sowie der Stücklisten beschrieben (vgl. Pahl & Beitz, 2005, S. 522).

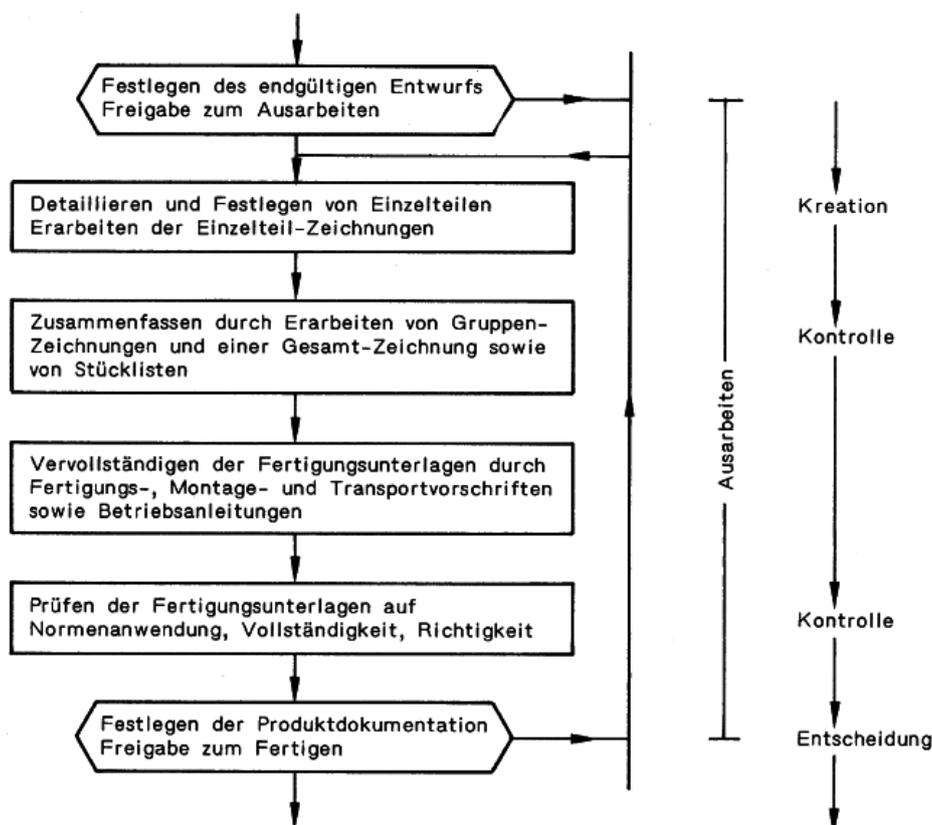


Abbildung 55: Arbeitsschritte beim Ausarbeiten (Pahl & Beitz, 2005, S. 523)

In der Ausarbeitungsphase wurden für alle erarbeiteten Einzelteile und Baugruppen Einzelteil- bzw. Baugruppenzeichnungen, wie z.B. Schweißzeichnungen und Zusammenbauzeichnungen angefertigt. Des Weiteren wurden mit Hilfe einer

Schnittstelle zwischen dem grafischen Bearbeitungsprogramm und dem ERP-Programm IFS die Einzelteile und Baugruppen sowie die Stücklisten erstellt.

In Tabelle 18 ist die Stückliste für die Tragrausführung für das offene Spiralseil mit einem Nenndurchmesser von 18 mm, wie sie auf dem Seilabhebebock auf den Stützen montiert wird, dargestellt. Die Stücklisten der anderen Ausführungen sind analog zu dieser aufgebaut, werden aber in dieser Arbeit nicht angegeben, da dies den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

In dieser Stückliste versteht man unter der Stufennummer die Baugruppenstufe, in der das Bauteil verbaut wird. Die höchste Stufennummer gibt jeweils das Rohteil für das verwendete Bauteil an, falls ein Rohteil angegeben ist. Für die Kunststoffeinlage, die Montagerolle sowie für die Normteile sind z.B. keine Rohteile angegeben, da diese Teile zugekauft werden. Die Menge gibt entweder die Anzahl der verbauten Teile, das Gewicht der Einzelteile oder die Länge bei Rundteilen an. Bei der dargestellten Stückliste sind nicht alle Elemente der tatsächlichen Stückliste wiedergegeben. Auf Elemente wie Artikelnummer, Revisionsnummer, Beschaffungscode, Zeichnungsnummer, Positionsnummer etc. wurde aufgrund der Übersichtlichkeit und Sinnhaftigkeit verzichtet.

Stufen-Nr.	Bezeichnung	Menge	Mengen-einheit
0	TR-Gleitschuh f. Seil-DM18 0-15° einstellbar	66,1	kg
.1	TR-Gleitschuh f. Seil-DM 18 OSS KPL 0-15° einstellbar	1	Stück
..2	Konsole F. TR+NH-Gleitschuh a. Bock 200/200	1	Stück
...3	Platte 315/275 T=25 4xDM18 f. GS-Konsole TR+NH	1	Stück
....4	Blech 25 EN10029/S355J2+N	16,8	kg
...3	Blech 385/180 T=10 F. GS-Konsole TR+NH	2	Stück
....4	Blech 10 EN10029/S355J2+N	2,8	kg
...3	Blech 55/55 T=8 Blech F. GS-Konsole TR+NH+KB	4	Stück
....4	Blech 8 EN10029/EN10029/S355J2+N	0,1	kg
...3	Blech 140/55 T=8 Blech F. GS-Konsole TR+NH+KB	2	Stück
....4	Blech 8 EN10029/S355J2+N	0,3	kg
..2	Konsole 550/118/285 F. Kunststoffeinlage	1	Stück
...3	Blech 200/102 T=8 Blech GS-Konsole TR+NH+KB	2	Stück
....4	Blech 8 EN10029/S355J2+N	1,28	kg
...3	Blech 550/285 T=8 F. GS-Konsole TR+NH	2	Stück
....4	Blech 8 EN10029/S355J2+N	5,1	kg
...3	Blech 87/45 T=20 Blech GS-Konsole TR+NH+KB	2	Stück
....4	Blech 20 EN10029/S355J2+N	0,6	kg
...3	Blech 70/40 T=5 F. GS-Konsole TR+NH+KB	4	Stück
....4	Blech 5 EN10029/S355J2+N	0,1	kg
..2	Distanzstück DM28/18 L=121 F. TR+NH-Gleitschuh	3	Stück

...3	Rohr DIN2391/ST35 BK28 X5 L=6M	0,121	m
..2	Distanzstück DM34/25 L=100 F. TR+NH-Gleitschuh	1	Stück
...3	Rohr DIN2391/ST35 BK34 X4,5 L=6M	0,1	m
..2	Bolzen DM35 L=194 2X M16 F. TR+NH+KB-Gleitschuh	1	Stück
...3	Rund DIN1013/42CrMo4+QT 35 L=6M	0,194	m
..2	Kunststoffeinlage 200/130/100 F. Gleitschuh F. Seil-DM 18 OSS	2	Stück
..2	Seilrolle DM140/100 B=96 F. Gleitschuh-DM25	1	Stück
..2	SHR ISO 4014-8.8U M16x170 FVZ 6KT-SHR	2	Stück
..2	Scheibe ISO 7089 M16 300 HV	8	Stück
..2	6KT-Mutter ISO 4032-8 M16 FVZ	4	Stück
..2	SHR ISO 4017-8.8U M16x140 FVZ 6KT-SHR	2	Stück
..2	SHR ISO 4014-8.8U M12x140 FVZ 6KT-SHR	2	Stück
..2	Scheibe ISO 7089 M12 300 HV zinklammellenbeschichtet	4	Stück
..2	6KT-Mutter DIN 985-8 M12 GVZ	2	Stück
..2	SHR ISO 4014-8.8U M24x160 FVZ 6KT-SHR	1	Stück
..2	Scheibe ISO 7089 M24 300HV zinklammellenbeschichtet	2	Stück
..2	6KT-Mutter DIN 985-8 M24 GVZ	1	Stück
.1	Platte 275/275 T=204xDM18 F. TR+NH-Gleitschuh	1	Stück
..2	Blech 20 EN10029/S355J2+N	11,7	kg
.1	SHR ISO 4014-8.8U M16x280 FVZ 6KT-SHR	4	Stück
.1	Scheibe ISO 7089 M16 300 HV zinklammellenbeschichtet	8	Stück
.1	6KT-Mutter ISO 4032-8 M16 FVZ	4	Stück

Tabelle 18: Stückliste für Gleitschuh für offenes Spiralseil mit einem Nenndurchmesser von 18 mm

9 Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde die Entwicklung eines Baukastensystems und einer Baureihe für die Führung und Lagerung von Lufthängekabeln, bestehend aus unterschiedlichen Seiltypen und Seildurchmessern, auf Seilbahnstützen dokumentiert. Hierbei wurden ausgehend von der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen sowie der Analyse des Istzustandes bisheriger Anlagen und des bisherigen Systems, durch das von Pahl & Beitz erläuterte Vorgehen beim Konstruieren insgesamt 45 unterschiedliche neue Seilschuhe erarbeitet. Wobei diese 45 unterschiedlichen Seilschuhe durch die Erweiterung von 5 unterschiedlichen Ausführungen des Baukastens zu einer Baureihe mit insgesamt 9 unterschiedlichen Kombinationen aus Seiltyp und Seildurchmesser entstanden sind. Die Erarbeitung neuer Seilschuhe war aufgrund der Anforderungen seitens der Seilhersteller und der immer größer werdenden Belastungen aufgrund immer längerer und extremerer Seilfelder notwendig.

Bei der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen wurde hier ein besonderes Augenmerk auf die Schädigungsmechanismen von Seilen, die Methoden zur Berechnung der Pressungen sowie die Schwingungen von Seilen und die Maßnahmen zur Reduzierung dieser Seilschwingungen gelegt.

In der Analyse des Istzustandes wurden die Arten der Lufthängekabel, die bisher verwendeten Gleitschuhe sowie die Belastungen auf das Lufthängekabel erläutert. Anschließend wurde eine Anlagenanalyse durchgeführt und die Pressungen für diese Daten berechnet. Des Weiteren wurde in diesem Kapitel ein aufgetretener Schadensfall sowie das Versetzen von Seilen erläutert. Zum Abschluss wurde noch eine Schwachstellenanalyse des bisherigen Systems durchgeführt.

Im Produktentwicklungsprozess wurde zuerst eine Anforderungsliste erstellt, welche die Forderungen und Wünsche der Doppelmayr Seilbahnen GmbH, der Fatzer AG und der zugehörigen Normen wiedergibt. Ausgehend von dieser Anforderungsliste wurde mithilfe des methodischen Konzipierens eine prinzipielle Lösung für das Baukastensystem erarbeitet. Aus dieser prinzipiellen Lösung wurde im Arbeitsschritt des methodischen Entwerfens ein endgültiger Entwurf erarbeitet. In der Entwurfsphase wurde speziell auf die Grundregeln zur Gestaltung, die Gestaltungsrichtlinien und Gestaltungsprinzipien geachtet. Das Hauptaugenmerk galt der Gestaltung der Kunststoffteile, welche mit dem Seil in Kontakt stehen. Hier wurde besonders auf die auftretenden Pressungen sowie eine möglichst seilschonende Führung geachtet.

Anschließend wurde der Entwurf des Baukastens zu einer Baureihe erweitert sowie eine Ausarbeitung der Lösungen durchgeführt.

Abschließend kann festgestellt werden, dass durch die Entwicklung des Baukastensystems und der Baureihe die Pressungen im Auflagebereich auf den Stützen kein Problem mehr darstellen sollten. Dies ist auch in Kapitel 7.1 zu sehen, wo die Pressungen mit den Daten aus der Anlagenanalyse für die neuen Seilschuhe berechnet wurden. Des Weiteren sollte in Kombination mit dem Einsatz von Schwingungsdämpfern ein Versetzen der Lufthängekabel nicht mehr notwendig sein bzw. sollte es möglich sein das Intervall für das Versetzen der Lufthängekabel zu vergrößern. Um das Versetzen der Seile vermeiden zu können, muss noch definiert werden, aufgrund welcher Grundlagen davon abgesehen werden kann. Des Weiteren muss dafür das Verhalten der Maßnahmen zur Reduzierung von Seilschwingungen genau analysiert werden.

Ein Nachteil, der durch den Baukasten und die Baureihe entsteht, sind die höheren zu erwartenden Kosten aufgrund der größeren Anzahl an Varianten und unterschiedlichen Teilen. Diese höheren Kosten werden aber durch die Erfüllung der Anforderungen und die Vorteile der Neuentwicklung gerechtfertigt.

Um die Fertigbarkeit und Montagetauglichkeit der neuen Seilschuhe zu überprüfen, wurde die Fertigung eines Prototyps der Standardausführung in Auftrag gegeben. Falls notwendig können dann noch Verbesserungen durchgeführt werden. Ist der Prototyp zufriedenstellend, wird eine erste Anlage mit den neuen Seilschuhen ausgerüstet, um die Einsatztauglichkeit der neuen Seilschuhe zu erproben.

10 Literaturverzeichnis

- Bärtsch, R. (2009). *Seilschonende Klemmplatte für Montage und Unterhalt: Das mechanische Verhalten von Seil und Klemmplatte: Theoretische und experimentelle Untersuchungen*. Forschungsprojekt, Hochschule Luzern, Luzern.
- Czichos, H., & Habig, K.-H. (2015). *Tribologie-Handbuch: Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik. 4. Auflage*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- DIN EN 12385-2. (2008-06). *Stahldrahtseile - Sicherheit - Teil 2: Begriffe, Bezeichnung und Klassifizierung*.
- DIN EN 12927. (2017-07). *Sicherheitsanforderungen an Seilbahnen für den Personenverkehr - Seile Entwurf*.
- DIN EN 1993-1-11. (2010-12). *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl*.
- Doppelmayr Seilbahnen GmbH. (2016). *Schwingungsverhalten von Lufthängekabeln auf Grund aerodynamischer Einflüsse*. Firmeninterne Präsentation, Wolfurt.
- Doppelmayr Seilbahnen GmbH. (2018). *Betriebsanleitung Freileitung*. Wolfurt.
- Feyrer, K. (1990). *Stehende Drahtseile und Seilendverbindungen*. Ehningen bei Böblingen: Expert-Verlag.
- Feyrer, K. (2000). *Drahtseile: Bemessung, Betrieb, Sicherheit. 2. Auflage*. Berlin: Springer.
- Gilow, T. (2012). *Parametererregte und Regen-Wind-induzierte Seilschwingungen*. Doktorarbeit.
- Günthner, W. (1999). *Seilbahntechnik*. München: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik.
- Kießling, F., Nefzger, P., & Kaintzyk, U. (2001). *Freileitungen: Planung, Berechnung, Ausführung. 5. Auflage*. Berlin: Springer.
- Kopanakis, G., & Kovacs, G. (2011). *Schwingungen bei Seilbahnen (8. Teil) - Seilfeldschwingungen: Ursachenbekämpfung bzw. Reduktion der Schwingungsintensität*. *Internationale Seilbahn-Rundschau*, S. 42-44.
- Kumarasena, S., Jones, N. P., Irwin, P., & Taylor, P. (2007). *Wind-Induced Vibration of Stay Cables*. Federal Highway Administration.
- Nahrath, N. (2003). *Modellierung Regen-Wind-induzierter Schwingungen*. Doktorarbeit.

- Pahl, G., & Beitz, W. (2005). *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendung*. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Preformed Line Products. (o. J.). *Air Flow Spoilers*. Abgerufen am 14. 11 2018 von http://preformed.com/images/pdfs/Communications/Strand_and_Cable_Products/Motion_Control_Products/Air_Flow_Spoiler_for_TeleComm_Motion_Control_Sec23-2.pdf
- Reinelt, O. (2015). *Zum Einfluss der Querbeanspruchung auf die Lebensdauer drehungsarmer Seile*. Doktorarbeit, Stuttgart.
- Sedivy, P. (2012). *Seilbahnbau*. Innsbruck: Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich intelligente Verkehrssysteme.
- Stammler, L. (2014). *Vorlesung Seilbahnbau Sommersemester 2014*.
- VDI2225. (1998). *Konstruktionsmethodik Technisch-wirtschaftliches Konstruieren Technisch-wirtschaftliche Bewertung*.

1 1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lufthängekabel in urbanem Bereich	1
Abbildung 2: Hauptarbeitsschritte beim Planen und Konzipieren (Pahl & Beitz, 2005, S. 170)	4
Abbildung 3: Stahlstütze mit Lufthängekabelaufleger	5
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Verlaufs vom Lufthängekabel mit Abspannungen und Umlenkungen	6
Abbildung 5: Schlaglänge und Schlagwinkel (Günthner, 1999).....	7
Abbildung 6: a) Flächenpressung b) Seilpressung c) lokale Pressung (Bärtsch, 2009, S. 30)	9
Abbildung 7: Unterschiedliche Theorien zur Flächenpressung (Bärtsch, 2009, S. 31) ...	10
Abbildung 8: Pressung zwischen Seil und Sitzrille (Feyrer, 2000).....	11
Abbildung 9: Druckverteilung nach Hertz (Bärtsch, 2009, S. 38)	11
Abbildung 10: Cosinus-Förmige Druckverteilung (Bärtsch, 2009).....	12
Abbildung 11: Überblick über Anregungsmechanismen bei Seilen (Nahrath, 2003, S. 34)	14
Abbildung 12: Schematische Darstellung des Verhaltens von Kabelbündel bei Galloping (Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016)	16
Abbildung 13: Stockbridge Dämpfer (Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016)	18
Abbildung 14: air flow spoiler (Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016).....	18
Abbildung 15: Veränderung der Seiloberfläche (Kumarasena, Jones, Irwin, & Taylor, 2007, S. 94).....	19
Abbildung 16: Schematische Darstellung des Kabelbündels (Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2016)	21
Abbildung 17: Ausführungen des bisherigen Seilschuhs: Tragseilschuh (a), Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachung (b), Kombiausführung (c) und Niederhalteausführung (d).....	23
Abbildung 18: Gleitschuh Garaventa	24
Abbildung 19: Gleitschuh 3S.....	24
Abbildung 20: Eisbehang am Lufthängekabel und an den Stützen	25
Abbildung 21: Anzahl der Bahnen je Jahr und Seildurchmesser	26
Abbildung 22: Schräge Länge je Seildurchmesser	27
Abbildung 23: Stützenlast zufolge der Seilspannkräfte (Sedivy, 2012, S. 72).....	28
Abbildung 24. Verlauf der Stützendruckkräfte über die Jahre	29

Abbildung 25: Lastskizze	31
Abbildung 26: Vergleich der Maximalwerte der Pressungen nach Fatzer und Hertz für die einzelnen Seilnennendurchmesser.....	33
Abbildung 27: Unterschiedliche Seilverläufe	33
Abbildung 28: Drahrtriss (a) und Seileinlauf (b).....	34
Abbildung 29: Unterschiedliche Seildurchmesser in bisheriger Rille	35
Abbildung 30: Hauptarbeitsschritte zum Aufstellen der Anforderungsliste (Pahl & Beitz, 2005, S. 188).....	36
Abbildung 31: Arbeitsschritte beim Konzipieren (Pahl & Beitz, 2005, S. 204)	42
Abbildung 32: Gesamtfunktion	43
Abbildung 33: Funktionsstruktur für die Montage des Systems	46
Abbildung 34: Funktionsstruktur.....	47
Abbildung 35: Kombination zu prinzipiellen Lösungsvarianten Teil 1	50
Abbildung 36: Kombination zu prinzipiellen Lösungsvarianten Teil 2	51
Abbildung 37: Kombinierte Lösungen	53
Abbildung 38: Konkretisierte Lösungen	55
Abbildung 39: Punktbewertungsskala (VDI2225, 1998, S. 4).....	56
Abbildung 40: Vergleich der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeiten der prinzipiellen Lösungsvarianten	58
Abbildung 41: Prinzipielle Lösung für die Tragausführung.....	59
Abbildung 42: Baukastenkomponenten für Kombivariante	59
Abbildung 43: Baukastenkomponenten für Variante mit Klemme und Positionsüberwachung.....	60
Abbildung 44: Hauptarbeitsschritte beim Entwerfen (Pahl & Beitz, 2005, S. 278).....	62
Abbildung 45: Baukastensystem mit Montageeinheiten.....	65
Abbildung 46: Kunststoffeinlage; Isometrische Ansicht (a), Ansicht von oben (b), Längsschnitt (c) und Ansicht von vorne (d)	66
Abbildung 47: Anpassung an Seilverlauf	68
Abbildung 48: Zusammengebaute Schraubklemme ohne Seil	70
Abbildung 49: Position der Seilrolle für Betrieb (a) und das Einziehen des Seils (b) für die Tragausführung	70
Abbildung 50: Tragausführung (a) und Niederhalteausführung (b).....	72
Abbildung 51: Kombiausführung (a) und Kombiausführung mit Positionsüberwachungseinheit	73
Abbildung 52: Ausführung mit Klemme und Positionsüberwachungseinheit.....	74

Abbildung 53: Sich ändernde Hauptwerte der Kunststoffeinlage.....79
Abbildung 54: kleinste und größte Stufung der Tragausführung80
Abbildung 55: Arbeitsschritte beim Ausarbeiten (Pahl & Beitz, 2005, S. 523).....84

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Offene Spiralseile (DIN EN 1993-1-11, 2010-12, S. 37)	7
Tabelle 2: verwendete Trägerseile	21
Tabelle 3: Maximalwerte der Seilkraft und der Stützdruckkraft je Seilnenndurchmesser	29
Tabelle 4: Eingesetzte Seilschuhe (TR Tragausführung, NH Niederhalteausführung)....	30
Tabelle 5: Pressungen nach der Formel der Fatzer AG	32
Tabelle 6: Pressungen nach Hertz für parallele Zylinder	32
Tabelle 7: Anforderungsliste für die Entwicklung von Armaturen für das Datenübertragungskabel auf Seilbahnstützen.....	41
Tabelle 8: Funktionen und Zuteilung zu den einzelnen Ausführungen	45
Tabelle 9: Auswahlliste für die Gesamtlösungen	54
Tabelle 10: Technische Bewertung der verbliebenen prinzipiellen Lösungsvarianten...57	
Tabelle 11: Qualitativ wirtschaftliche Bewertung der verbleibenden prinzipiellen Lösungsvarianten	57
Tabelle 12: Bewertung der Lösung	75
Tabelle 13: D/d-Verhältnisse	78
Tabelle 14: Rillengrundradius für D/d-Verhältnis von 65 für OSS mit LWL	78
Tabelle 15: Zuteilung der einzelnen Ausführungen.....	81
Tabelle 16: Unterscheidung zwischen Varianten und Größenstufen	81
Tabelle 17: Pressungen für alte und neue Geometrie	82
Tabelle 18: Stückliste für Gleitschuh für offenes Spiralseil mit einem Nenndurchmesser von 18 mm	86

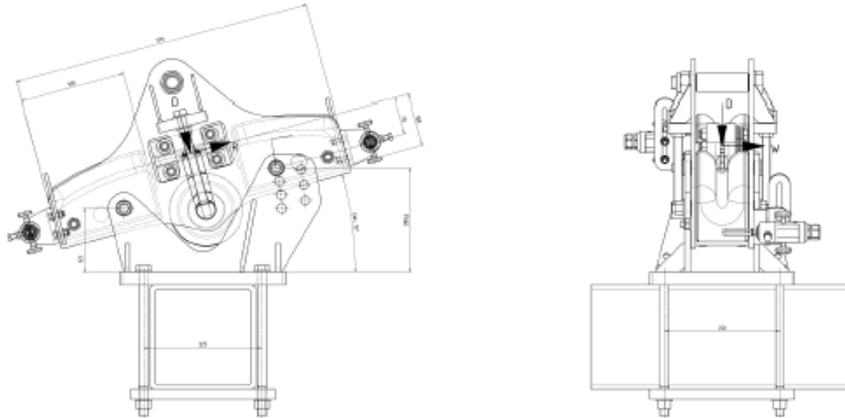
1. Skizze und Belastungsannahme

Alle Baugruppen für Trag-, Niederhalte und Wechsellast

max. Lasten im Niederhalteinsatz - 50 kN nach oben sind deutlich geringer als im Tragbetrieb. Daher wird dieser berechnet. Max. Lasten im Traghalteinsatz treten bei der geklemmten Ausführung auf.

Die Lasten werden in der höchsten Stellung der Konsole bei 15 Grad eingeleitet, da dies die ungünstigste Stellung ist.

Lastskizze:



Geometrie und Lasten

Psi=	15 °
Psi=	0,26 rad
EW=	15 °
EW=	0,26 rad

Druckwinkel

Einstellwinkel

Lastannahme Standard:

D=	90,0 kN
W=	30,0 kN
$R = \mu \cdot \sqrt{D^2 + W^2} =$	28,5 kN
$\mu =$	0,3

Seildruck gesamt

Windkraft

resultierende Reibkraft

Reibbeiwert

$$\gamma_Q = 1,5$$

Teilsicherheitsbeiwert standard Lastfall

$$F_D = D \cdot \gamma_Q = 135 \text{ kN}$$

$$F_W = W \cdot \gamma_Q = 45 \text{ kN}$$

$$F_R = R \cdot \gamma_Q = 42,7 \text{ kN}$$

Lastannahme Außergewöhnlich
Klemme steht an

D=	90,0 kN
W=	30,0 kN
R=	58,5 kN
μ =	0,3
Rk=	30,0 kN

Seildruck gesamt
Windkraft
resultierende Reibkraft (inkl. Rk)
Reibbeiwert
rutschende Klemme

$$\gamma_Q = 1,0$$

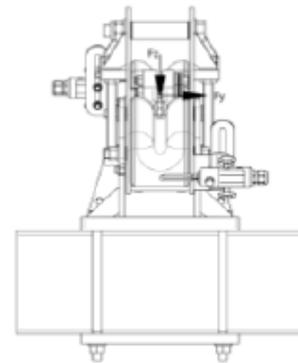
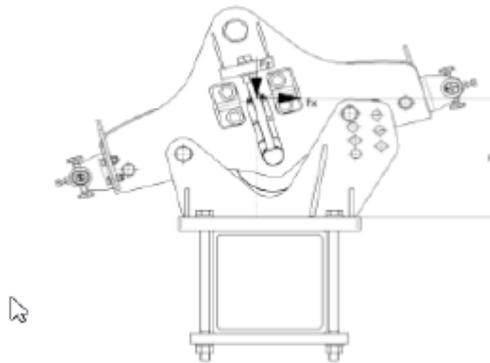
Teilsicherheitsbeiwert für
außergewöhnlichen Lastfall

$$F_D = D \cdot \gamma_Q = 90 \text{ kN}$$

$$F_W = W \cdot \gamma_Q = 30 \text{ kN}$$

$$F_R = R \cdot \gamma_Q = 58,5 \text{ kN}$$

Kräfte für ein globales x-y-z KOS



Standard Lastfall

$$\alpha = 15^\circ$$

Aufgrund der Einstellmöglichkeiten kann
angenommen werden, dass EW=PSI ist

$$F_x = F_D \cdot \sin(\alpha) + F_R \cdot \cos(\alpha) = 76,2 \text{ kN}$$

$$F_y = F_W = 45 \text{ kN}$$

$$F_z = F_D \cdot \cos(\alpha) - F_R \cdot \sin(\alpha) = 119,4 \text{ kN}$$

Außergewöhnlicher Lastfall

$$F_x = F_D \cdot \sin(\alpha) + F_R \cdot \cos(\alpha) = 79,8 \text{ kN}$$

$$F_y = F_W = 30,0 \text{ kN}$$

$$F_z = F_D \cdot \cos(\alpha) - F_R \cdot \sin(\alpha) = 71,8 \text{ kN}$$

Aufteilung der Kräfte zu den Kunststoffeinslagen

Standard Lasten:

$$\begin{aligned} h &= 7 \text{ cm} \\ l_1 &= 15 \text{ cm} \\ l_2 &= 15 \text{ cm} \\ l &= 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{R1} &= \sqrt{F_{W1}^2 + F_{D1}^2} = 21,3 \text{ kN} \\ F_{W1} &= \frac{l_2}{l} F_W = 22,5 \text{ kN} \\ F_{D1} &= \frac{l_1}{l} F_D = 67,5 \text{ kN} \\ F_{R11} &= \sqrt{F_{W11}^2 + F_{D11}^2} = 21,3 \text{ kN} \\ F_{W11} &= \frac{l_2}{l} F_W = 22,5 \text{ kN} \\ F_{D11} &= \frac{l_1}{l} F_D = 67,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kräfte für das globale x-y-z Koordinatensystem für den standard Lastfall

$$\begin{aligned} \alpha &= 15^\circ \\ \alpha &= 0,2618 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{x1} &= F_{D1} \cdot \sin(\alpha) + F_{R1} \cdot \cos(\alpha) = 38,1 \text{ kN} \\ F_{y1} &= F_{W1} = 22,5 \text{ kN} \\ F_{z1} &= F_{D1} \cdot \cos(\alpha) - F_{R1} \cdot \sin(\alpha) = 59,7 \text{ kN} \\ F_{x11} &= F_{D11} \cdot \sin(\alpha) + F_{R11} \cdot \cos(\alpha) = 38,1 \text{ kN} \\ F_{y11} &= F_{W11} = 22,5 \text{ kN} \\ F_{z11} &= F_{D11} \cdot \cos(\alpha) - F_{R11} \cdot \sin(\alpha) = 59,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Außergewöhnlicher Lastfall:

$$\begin{aligned} F_{R1} &= \sqrt{F_{W1}^2 + F_{D1}^2} = 29,2 \text{ kN} \\ F_{W1} &= \frac{l_2}{l} F_W = 15,0 \text{ kN} \\ F_{D1} &= \frac{l_1}{l} F_D = 45,0 \text{ kN} \\ F_{R11} &= \sqrt{F_{W11}^2 + F_{D11}^2} = 29,2 \text{ kN} \\ F_{W11} &= \frac{l_2}{l} F_W = 15,0 \text{ kN} \\ F_{D11} &= \frac{l_1}{l} F_D = 45,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

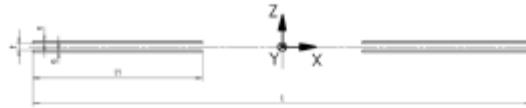
Kräfte für das globale x-y-z Koordinatensystem für den außergewöhnlichen Lastfall

$$\begin{aligned} F_{x1} &= F_{D1} \cdot \sin(\alpha) + F_{R1} \cdot \cos(\alpha) = 39,9 \text{ kN} \\ F_{y1} &= F_{W1} = 15,0 \text{ kN} \\ F_{z1} &= F_{D1} \cdot \cos(\alpha) - F_{R1} \cdot \sin(\alpha) = 35,9 \text{ kN} \\ F_{x11} &= F_{D11} \cdot \sin(\alpha) + F_{R11} \cdot \cos(\alpha) = 39,9 \text{ kN} \\ F_{y11} &= F_{W11} = 15,0 \text{ kN} \\ F_{z11} &= F_{D11} \cdot \cos(\alpha) - F_{R11} \cdot \sin(\alpha) = 35,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

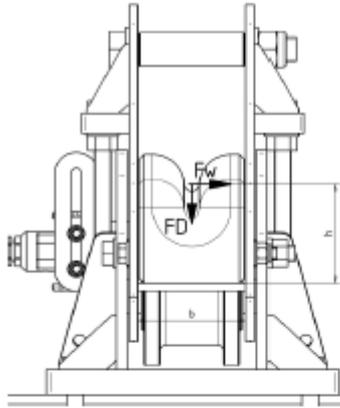
2. Schweißnahtauswertung

2.1 Schweißnaht I-I

Skizze Schweißnaht I-I



Skizze und Geometrie



$$\begin{aligned} a &= 0,3 \text{ cm} \\ s &= 17 \text{ cm} \\ I_1 &= 20 \text{ cm} \\ t &= 0,8 \text{ cm} \\ l &= 57 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= 24 \text{ cm}^2 \\ I_{xx} &= 7,4 \text{ cm}^4 \\ I_{zz} &= 9014 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_x &= 0,7 \text{ cm} \\ a_z &= 28,5 \text{ cm} \\ W_x &= 10,5714 \text{ cm}^3 \\ W_z &= 316,281 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= 10,5 \text{ cm} && \text{Hebelarm für Windkraft} \\ b &= 10,2 \text{ cm} && \text{Hebelarm für Seildruck} \end{aligned}$$

Werkstoff: S355

$$\begin{aligned} f_u &= 49 \text{ kN/cm}^2 && \text{Zugfestigkeit S355} \\ \beta_w &= 0,9 && \text{Korrelationsbeiwert} \\ \gamma_{M2} &= 1,25 && \text{Teilsicherheitsbeiwert} \end{aligned}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = 25,1 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{Bemessungswert}$$

Standard Lastfall

$$F_{xs} = \frac{F_R}{2} = 21,35 \text{ kN}$$

$$F_{ys} = \frac{F_W}{2} = 22,5 \text{ kN}$$

$$F_{zs} = \frac{F_D}{2} = 67,5 \text{ kN}$$

$$M_{xs} = \frac{F_{zs} \cdot b}{2} - F_{ys} \cdot h = 108 \text{ kNcm}$$

$$M_{zs} = \frac{F_{xs} \cdot b}{2} = 108,86 \text{ kNcm}$$

$$Q_s = \sqrt{F_{ys}^2 + F_{zs}^2} = 70,79 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{F_{ys}}{A} + \frac{M_{xs}}{W_x} + \frac{M_{zs}}{W_z} = 11,50 \text{ kN/cm}^2 < 25,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q_s}{A} = 2,95 \text{ kN/cm}^2 < 19,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = 11,87 \text{ kN/cm}^2 < 25,1 \text{ kN/cm}^2$$

Außergewöhnlicher Lastfall

$$F_{xs} = \frac{F_R}{2} = 39,9 \text{ kN}$$

$$F_{ys} = \frac{F_W}{2} = 15,0 \text{ kN}$$

$$F_{zs} = \frac{F_D}{2} = 35,9 \text{ kN}$$

$$M_{xS} = \frac{F_{xS} \cdot b}{2} - F_{yS} \cdot h = 25,6 \text{ kN}$$

$$M_{zS} = \frac{F_{xS} \cdot b}{2} = 203,4 \text{ kN}$$

$$Q_S = \sqrt{F_{yS}^2 + F_{xS}^2} = 53,7 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{F_{yS}}{A} + \frac{M_{xS}}{W_x} + \frac{M_{zS}}{W_z} = 3,7 \text{ N/mm}^2 < 25,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q_S}{A} = 2,2 \text{ N/mm}^2 < 19,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = 4,3 \text{ N/mm}^2 < 25,1 \text{ kN/cm}^2$$

2.2 Schweißnaht II-II

Skizze und Geometrie

$$I_{xx} = 113,5 \text{ cm}^4$$

$$I_{yy} = 383 \text{ cm}^4$$

$$a_x = 6,6 \text{ cm}$$

$$a_y = 4,79 \text{ cm}$$

$$A = 22,28 \text{ cm}^2$$

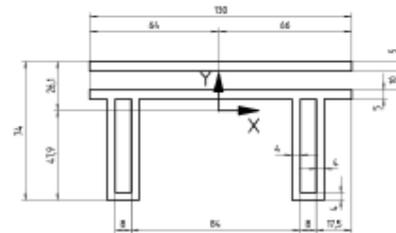
$$W_x = 17,2 \text{ cm}^3$$

$$W_y = 80,0 \text{ cm}^3$$

$$h_1 = 20 \text{ cm}$$

$$h_2 = 26,2 \text{ cm}$$

$$b/2 = 6,6 \text{ cm}$$



Standard Lastfall

$$F_{xS} = \frac{F_{xII}}{2} = 19,0 \text{ kN}$$

$$F_{yS} = \frac{F_{yII}}{2} = 11,3 \text{ kN}$$

$$F_{zS} = \frac{F_{zII}}{2} = 29,8 \text{ kN}$$

$$M_{xS} = \frac{F_{yII} \cdot h_{II}}{2} = 294,8 \text{ kNcm}$$

$$M_{yS} = \frac{F_{zII} \cdot h_{II}}{2} = 499,0 \text{ kNcm}$$

$$Q_S = \sqrt{F_{xS}^2 + F_{yS}^2} = 22,1 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{F_{zS}}{A} + \frac{M_{xS}}{W_x} + \frac{M_{yS}}{W_y} = 24,7 \text{ kN/cm}^2 < 25,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q_S}{A} = 1,0 \text{ kN/cm}^2 < 19,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = 24,7 \text{ kN/cm}^2 < 25,1 \text{ kN/cm}^2$$

Außergewöhnlicher Lastfall

$$F_{xS} = \frac{F_{xII}}{2} = 19,9 \text{ kN}$$

$$F_{yS} = \frac{F_{yII}}{2} = 7,5 \text{ kN}$$

$$F_{zS} = \frac{F_{zII}}{2} = 18,0 \text{ kN}$$

$$M_{xS} = \frac{F_{yII} \cdot h_{II}}{2} = 196,5 \text{ kNcm}$$

$$M_{yS} = \frac{F_{xII} \cdot h_{II}}{2} = 522,4 \text{ kNcm}$$

$$Q_S = \sqrt{F_{xS}^2 + F_{yS}^2} = 21,3 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{F_{zS}}{A} + \frac{M_{xS}}{W_x} + \frac{M_{yS}}{W_y} = 18,4 \text{ kN/cm}^2 < 25,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q_S}{A} = 1,0 \text{ kN/cm}^2 < 19,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = 18,4 \text{ kN/cm}^2 < 25,1 \text{ kN/cm}^2$$

3. Schraubenberechnung**3.1 Schraubenverbindung Bodenplatte M16-8.8**

Geometrie und Skizze

$$A_s = 6,28 \text{ cm}^2$$

$$W_{xx} = 69,16 \text{ cm}^3$$

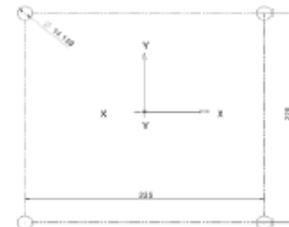
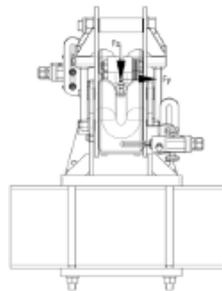
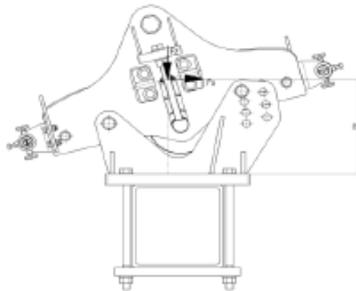
$$W_{yy} = 70,72 \text{ cm}^3$$

$$h = 23 \text{ cm} \quad \text{Hebelarm}$$

Werkstoffe:

Schrauben M16-8.8

$$f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{Zugfestigkeit}$$

**Bemessungswerte**

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\sigma_{v,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 57,6 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{Beimmungswert für Zugkraft}$$

$$\tau_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 38,4 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{Beimmungswert für Abscherung}$$

Standard Lastfall

$$M_x = F_y \cdot h = 1035 \text{ kNcm}$$

$$M_y = F_x \cdot h = 1752,06 \text{ kNcm}$$

$$Q = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 88,48 \text{ kN}$$

Zug

$$\sigma_{Sd,Schraube} = \frac{F_z}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = 20,74 \text{ kN/cm}^2 < 57,6 \text{ kN/cm}^2$$

Abscheren je Scherfuge

$$\tau = \frac{Q}{A} = 14,09 \text{ kN/cm}^2 < 38,4 \text{ kN/cm}^2$$

Interaktion aus Abscherung und Zug

$$\frac{\tau_{Sd}}{\tau_{Rd}} + \frac{\sigma_{Sd}}{1,4 \cdot \sigma_{Rd}} = 0,62 < 1$$

Außergewöhnlicher Lastfall

$$M_x = F_y \cdot h = 690 \text{ kNcm}$$

$$M_y = F_x \cdot h = 1834,5 \text{ kNcm}$$

$$Q = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 85,22 \text{ kN}$$

$$\sigma_{Sd,Schraube} = \frac{F_z}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = 24,48 \text{ kN/cm}^2 < 57,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q}{A} = 13,57 \text{ kN/cm}^2 < 38,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{Sd}}{\tau_{Rd}} + \frac{\sigma_{Sd}}{1,4 \cdot \sigma_{Rd}} = 0,66 < 1$$

Gleitnachweis für die höchstbelastete Schraube

$$F_v = 75 \text{ kN}$$

$$k_s = 1$$

$$y_{M3} = 1,25$$

$$\mu = 0,25$$

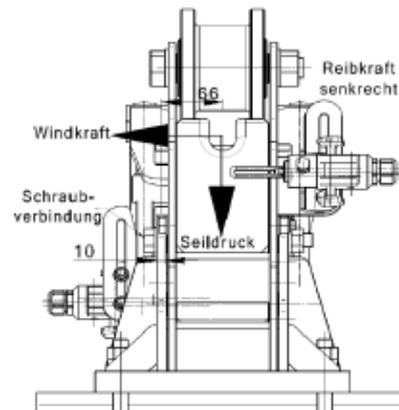
$$n = 2$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_v}{y_{M3}} = 30 \text{ kN} > 22,1 \text{ kN} = Q/4$$

3.2 Verschraubung Konsole 1 mit Konsole 2 und Kunststoffeinlage

Geometrie und Skizze

ds=	1,6 cm	1,54
h=	7 cm	
b=	13,2 cm	
l=	30 cm	Abstand Schrauben
fy=	64 kN/cm ²	Streckgrenze Schraube
t=	1 cm	Dicke Blech
ym1=	1	Teilsicherheitsbeiwert



Standard Lasten

$$F_{Schraube} = \sqrt{(Reib)^2 + (Druck + Wind + Reibm)^2} =$$

	Seildruck	Reibkraft	aus Windmoment	aus Reibmoment	Resultierende Kraft
Schraube I li	-29,8	19,0	6,0	-4,4	34,1 kN
Schraube I re	-29,8	19,0	-6,0	-4,4	44,5 kN
Schraube II li	-29,8	19,0	6,0	-4,4	34,1 kN
Schraube II re	-29,8	19,0	-6,0	-4,4	44,5 kN

Zulässige Kraft

$$F_{rd} = 0,6 \cdot \frac{t \cdot d_0 \cdot f_y}{\gamma_{M6}} = 61,4 \text{ kN} > 44,5 \text{ kN}$$

Abscheren

$$\tau_{Sd \text{ Schraube}} \leq \frac{Q}{A} = 28,9 \text{ kN} < 38,4 \text{ kN/mm}^2$$

Lochleibung

$$F_{v,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 85,2 \text{ kN} > 44,5 \text{ kN}$$

Außergewöhnliche Lasten

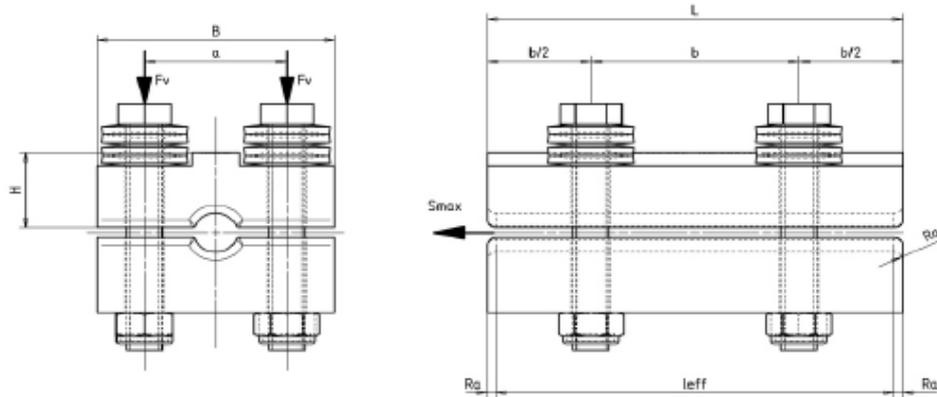
	Seildruck	Reibkraft	aus Windmoment	aus Reibmoment	Resultierende Kraft
Schraube I li	-18,0	19,9	4,0	-4,7	27,3 kN
Schraube I re	-18,0	19,9	-4,0	-4,7	33,2 kN
Schraube II li	-18,0	19,9	4,0	-4,7	27,3 kN
Schraube II re	-18,0	19,9	-4,0	-4,7	33,2 kN

Zulässige Kraft	$F_{rd} = 0,6 \cdot \frac{t \cdot d_0 \cdot f_y}{\gamma_{M6}} =$	61,4 kN	>	33,2 kN
Abscheren	$\tau_{Sd\ Schraube} \leq \frac{Q}{A} =$	21,6 kN/mm ²	<	38,4 kN/mm ²
Lochleibung	$F_{v,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} =$	85,2 kN	>	33,2 kN

Berechnung Klemme

Klemmplatte für Seildurchmesser [cm]: 1,4

ID: 11588925



Maße:

a	5 cm	
H	2,81 cm	
b	9 cm	
L	14 cm	
ds	1,4 cm	Seildurchmesser
alpha	278 °	Kontaktwinkel Seil - Klemmbacke, Summe der oberen und unteren Klemmplatte

Schrauben: M12 - 8.8

Maximale Vorspannkraft: 39,6 kN

Maximales Anziehdrehmoment: 83 kN

Gewähltes Anziehdrehmoment Ma 62 Nm

$$\text{Vorspannkraft } F_V = \frac{\text{max. Vorspannkraft } (F_V)}{\text{max. Anziehdrehmoment } (M_A)} \cdot \text{Anziehdrehmoment } (M_A)$$

$$= \frac{39,6}{83} \cdot 65 = \underline{29,58 \text{ kN}}$$

Fv 31

Ma 64,9747475

damit Fv 31kN

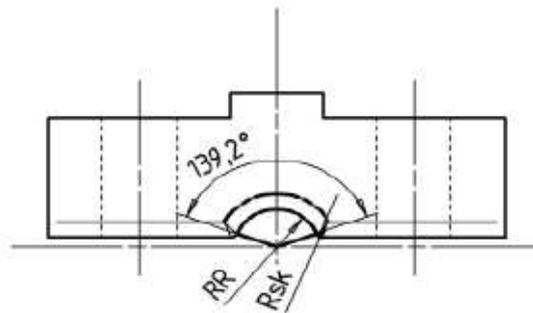
Maximale Abzugskraft: Die Berechnung erfolgt nach: EN 12927-4: Seilendbefestigungen

n	4 Anzahl der Schrauben
z	2 Anzahl der Reibflächen
μ	0,13 Reibwert zwischen Seil und Klemmbacken für Spiralseil
f	1 Reduktionsbeiwert für die Schraubenvorspannkraft nach EN 12927 - 4

Rutschkraft: $R = F_V \cdot f \cdot n \cdot z \cdot \mu = \underline{30,76} \text{ kN}$ Haltekraft HS = 30 kN

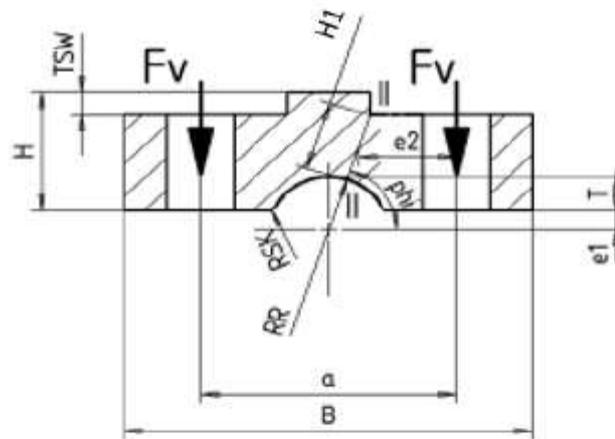
Sicherheit gegen Rutschen $\gamma = \frac{R}{HS} = \underline{1,03}$ Auslegung als Reibkupplung ca 1

Pressung zwischen Seilklemme und Seil:



alpha	278 °	Berührungswinkel (Summe obere + untere Platte)
ds	1,4 cm	Seildurchmesser
L	14 cm	Plattenlänge, siehe Blatt 1
Ra	0,8 cm	Ausmündungsradius, siehe Blatt 1
Leff	12,4 cm	Wirklänge, siehe Blatt 1
Fv	29,58 kN	Vorspannkraft
f	1	Reduktionsbeiwert für die Schraubenvorspannkraft nach EN 12927 - 4
n	4	Anzahl der Schrauben
pzul OSS	10 kN/cm ²	Zulässige Pressung für Spiralseile
pzul LWL	6 kN/cm ²	Zulässige Pressung für Spiralseile mit innenliegendem LWL

$$p = \frac{2 \cdot F_V \cdot \alpha \cdot n \cdot f}{d_s \cdot L_{eff} \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}} = \underline{5,62} \text{ kN/cm}^2 < 10 \text{ kN/cm}^2 < 6 \text{ kN/cm}^2$$



Beanspruchung des Querschnitts II-II

$$W_{pl} = \frac{b_{eff2} \cdot H_2^2}{4} = 6,4 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 227,6 \text{ kNcm}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{b_{eff2} \cdot H_2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 481,7 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{b_{eff2} \cdot H_2 \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 278,1 \text{ kN}$$

Wirkende Kräfte und Momente

$$M_{ed} = F_v \cdot e_2 \cdot \gamma_p = 88,3 \text{ kNcm}$$

$$N_{ed} = F_v \cdot \cos \varphi \cdot \gamma_p = 13,5 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = F_v \cdot \sin \varphi \cdot \gamma_p = 42,3 \text{ kN}$$

Beanspruchung:

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = 0,15 \leq 0,5$$

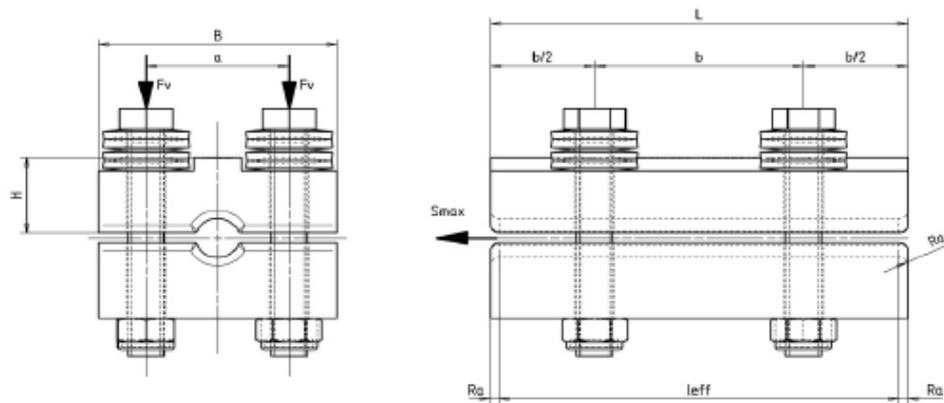
$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left(1 - \left(\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}}\right)^2\right) = 227,44 \text{ kNcm}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{N,Rd}} = 0,39 \leq 1$$

Berechnung Klemme

Klemmplatte für Seildurchmesser [cm]: 2,2

ID: 11719927



Maße:

a	4,8 cm	
H	2,59 cm	
b	9 cm	
L	14 cm	
ds	2,2 cm	Seildurchmesser
alpha	242,31 °	Kontaktwinkel Seil - Klemmbacke, Summe der oberen und unteren Klemmplatte

Schrauben:	M12 8x8	
Maximale Vorspannkraft:		39,6 kN
Maximales Anziehdrehmoment:		83 kN
Gewähltes Anziehdrehmoment Ma		62 Nm

$$\text{Vorspannkraft} \quad F_V = \frac{\text{max. Vorspannkraft } (F_V)}{\text{max. Anziehdrehmoment } (M_A)} \cdot \text{Anziehdrehmoment } (M_A)$$

$$= \frac{39,6}{83} \cdot 65 = \underline{29,58 \text{ kN}}$$

Fv 29,3
 Ma 61,4116162
 damit Fv 31kN

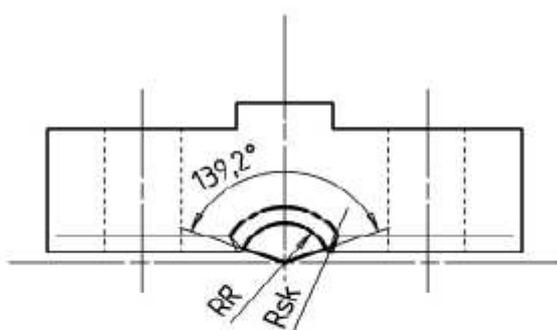
Maximale Abzugskraft: Die Berechnung erfolgt nach: EN 12927-4: Seilendbefestigungen

n	4 Anzahl der Schrauben
z	2 Anzahl der Reibflächen
μ	0,13 Reibwert zwischen Seil und Klemmbacken für Spiralseil
f	1 Reduktionsbeiwert für die Schraubenvorspannkraft nach EN 12927 - 4

Rutschkraft: $R = F_v \cdot f \cdot n \cdot z \cdot \mu = \underline{30,76} \text{ kN}$ Haltekraft HS = 30 kN

Sicherheit gegen Rutschen $\gamma = \frac{R}{HS} = \underline{1,03}$ Auslegung als Reibkupplung ca 1

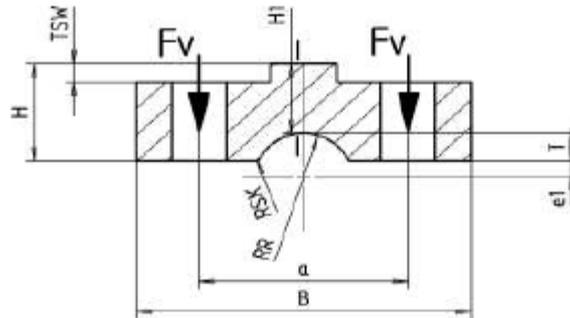
Pressung zwischen Seilklemme und Seil:



alpha	256 °	Berührungswinkel (Summe obere + untere Platte)
ds	2,2 cm	Seildurchmesser
L	14 cm	Plattenlänge, siehe Blatt 1
Ra	0,8 cm	Ausmündungsradius, siehe Blatt 1 ev auf 0,8 gehen
L _{eff}	12,4 cm	Wirklänge, siehe Blatt 1
F _v	31,00 kN	Vorspannkraft
f	1	Reduktionsbeiwert für die Schraubenvorspannkraft nach EN 12927 - 4
n	4	Anzahl der Schrauben
p _{zul} OSS	10 kN/cm ²	Zulässige Pressung für Spiralseile
p _{zul} LWL	6 kN/cm ²	Zulässige Pressung für Spiralseile mit innenliegendem LWL

$$p = \frac{2 \cdot F_v \cdot n \cdot f}{d_s \cdot L_{eff} \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}} = \underline{4,07} \text{ kN/cm}^2 < 10 \text{ kN/cm}^2 < 6 \text{ kN/cm}^2$$

Querschnitt I-I:



Werkstoff: S355J2+N

f_y	35,5 kN/cm ²	Streckgrenze
γ_{M0}	1	Sicherheitsbeiwert Material
γ_p	1,5	Annahme Teilsicherheitsbeiwert für Vorspannkraft
F_v	29,58 kN	Vorspannkraft
H_1	1,86 cm	Querschnittshöhe
a	5 cm	Schraubenabstand quer
b	7 cm	Schraubenabstand längs
s_w	3,2 cm	Schlüsselweite
b_{eff}	8 cm	Annahme Einflussbreite, $b_{eff}=a+s_w$, maximal b !
$a+s_w$	8,2	

Beanspruchbarkeit des Querschnitts

$$W_{pl} = \frac{b_{eff} \cdot H_1^2}{4} = \underline{6,92} \text{ cm}^3 \quad \text{plastisches Widerstandsmoment}$$

$$W_{C,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \underline{245,63} \text{ kNcm}$$

$$M_{ed} = F_v \cdot \frac{a}{2} \cdot \gamma_p = \underline{110,93} \text{ kNcm}$$

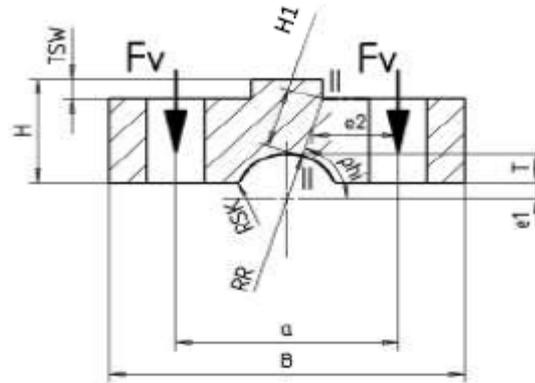
$$\frac{M_{ed}}{M_{C,Rd}} = \underline{0,45} < 1$$

Querschnitt II-II

f_y	35,5 kN/cm ²	Streckgrenze
γ_{M0}	1	Sicherheitsbeiwert Material
γ_p	1,5	Annahme Teilsicherheitsbeiwert für Vorspannkraft
F_v	29,58 kN	Vorspannkraft
H_2	1,48 cm	Querschnittshöhe, siehe Skizze Blatt 4
e_2	1,83 cm	Mittelpunktsabstand, siehe Skizze Blatt 4
φ	72,3 °	Winkel, siehe Skizze Blatt 4

$$A_2 = L \cdot H_2 = 20,72 \text{ cm}^2 \quad \text{Fläche}$$

$$b_{eff2} = 2 \cdot e_2 + s_w = 6,86 \text{ cm} \quad \text{Annahme Einflussbreite, Maximal } b!$$



Beanspruchung des Querschnitts II-II

$$W_{pl} = \frac{b_{eff2} \cdot H_2^2}{4} = 3,8 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 133,4 \text{ kNcm}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{b_{eff2} \cdot H_2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 360,4 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{b_{eff2} \cdot H_2 \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 208,1 \text{ kN}$$

Wirkende Kräfte und Momente

$$M_{ed} = F_v \cdot e_2 \cdot \gamma_p = 81,2 \text{ kNcm}$$

$$N_{ed} = F_v \cdot \cos \varphi \cdot \gamma_p = 13,5 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = F_v \cdot \sin \varphi \cdot \gamma_p = 42,3 \text{ kN}$$

Beanspruchung:

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = 0,20 \leq 0,5$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left(1 - \left(\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}}\right)^2\right) = 133,17 \text{ kNcm}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{N,Rd}} = 0,61 \leq 1$$