

# Titelblatt

## Bachelorarbeit

### Thema

Auslegung und Konstruktion von Elementen einer verfahrbaren Dachkonstruktion

|          |        |              |        |
|----------|--------|--------------|--------|
| Name:    | Wagner | Studiengang: | MIP09I |
| Vorname: | Lars   | Matrikel:    | 17043  |

Unternehmen: GOSAG Stahl- und Anlagenbau GmbH  
Am Vogts Garten 10  
06308 Klostermansfeld

tätig in der Branche: Stahlbaukonstruktion

|           |                            |                                  |
|-----------|----------------------------|----------------------------------|
| Betreuer: | Prof. Dr.-Ing. W.-D. Knoll | Hochschule Merseburg             |
|           | Dipl.-Ing. G. Geigenmüller | Gosag Stahl- und Anlagenbau GmbH |
|           | Dipl.-Ing. J. May          | Hochschule Merseburg             |



## Eigenständigkeitserklärung

Name: Wagner

Vorname : Lars

Matrikel: 17043

Hiermit erkläre ich, dass ich eigenständig unter zu Hilfe nahme von Informationen der in der Arbeit angegebenen Quellen diese Arbeit angefertigt habe.

Klostermansfeld, den 07.09.14

Unterschrift: 



**Aufgabenstellung  
für die Bachelorarbeit (B.Eng.)  
von Herrn Lars Wagner  
(Matrikel 09BMIP)**



Merseburg, 16.06.2014

**Thema:** Auslegung und Konstruktion von Elementen einer verfahrbaren Dachkonstruktion

**Betreuer:** Prof. Dr.-Ing. W.-D. Knoll Hochschule Merseburg  
Dipl.-Ing. G. Geigenmüller GOSAG Stahl- u. Anlagenbau GmbH  
Klostermannsfeld  
Dipl.-Ing. J. May Hochschule Merseburg

**Aufgabenstellung**

Ziel der Bachelorarbeit ist es, die Komponenten für ein Glasdach mit horizontaler Dichtungsebene und durchgehender thermischer Dichtung auszulegen. Das Dach ist in zwei Stufen verfahrbar zu gestalten. Im geschlossenen Zustand soll zunächst ein vertikales Anheben und danach ein horizontales Verschieben möglich sein. Die dafür erforderlichen Antriebe dürfen sich gegenseitig nicht beeinflussen und es ist auf eine maximale Aufbauhöhe über dem Fundament zu achten. Außerdem ist für Wasserdichtheit und ausreichenden Korrosionsschutz wegen erhöhter Kondensatbildung auf der Innenseite zu sorgen. Zur Verminderung der Kondensatbildung sind Wärmebrücken zwischen Innen- und Außenseite zu vermeiden und Elemente zur Wärmedämmung vorzusehen. Da Fertigungs- und Montageplatz weit auseinander liegen, muss die Konstruktion transportgerecht durch Anwendung der Segmentbauweise erfolgen.

Entwürfe für die Rahmen der Segmente sowie den Hub- und Fahrmechanismus und dafür erforderliche Antriebe sind bereits vorhanden. Auch die statische Berechnung des Rahmens liegt vor.

**Schwerpunkte**

- Auslegung und Auswahl der Antriebe
- Konstruktion des Verschiebemechanismus und Anpassung an die bereits gestalteten Komponenten
- Erstellung der Planungsunterlagen für das Gesamtsystem incl. Tragrahmen

Ausgabe der Aufgabenstellung:

Abgabe der Arbeit:

abzugebende Exemplare: zwei + PDF- Datei

A blue ink signature, appearing to read 'Staiger', written in a stylized, cursive script.

Prof. Dr. M. Staiger  
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

A blue ink signature, appearing to read 'Knoll', written in a stylized, cursive script.

Prof. Dr. W.-D. Knoll  
Themenstellender Hochschullehrer



# Inhaltsverzeichnis

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Titelblatt.....                              | 1  |
| Eigenständigkeitserklärung.....              | 3  |
| Aufgabenstellung.....                        | 5  |
| Inhaltsverzeichnis.....                      | 7  |
| Abbildungsverzeichnis.....                   | 8  |
| Tabellenverzeichnis.....                     | 8  |
| Zeichenerklärung.....                        | 9  |
| Formelerklärung.....                         | 11 |
| Erläuterung der Aufgabenstellung.....        | 12 |
| Anforderungsliste.....                       | 14 |
| Funktionsanalyse.....                        | 16 |
| Ausblick.....                                | 16 |
| Stand der Technologie.....                   | 16 |
| Variantenaufstellung.....                    | 20 |
| Fahrmechanismus.....                         | 20 |
| Hubmechanismus.....                          | 20 |
| Nebenfunktionen.....                         | 21 |
| Plausibilitätsüberprüfung.....               | 22 |
| Fahrmechanismus.....                         | 22 |
| Hubmechanismus.....                          | 23 |
| Nebenfunktionen.....                         | 23 |
| Zwischenstand.....                           | 24 |
| Korrosionsschutz.....                        | 24 |
| Spezifikation Hub- und Fahrsystem.....       | 27 |
| Fahrsystem.....                              | 28 |
| Hubsystem.....                               | 30 |
| Rechnungen zu den Varianten.....             | 31 |
| Variantenauswahl.....                        | 33 |
| einachsiges Verfahren.....                   | 34 |
| Hubsystem.....                               | 37 |
| Ausarbeitung des Hebelarms.....              | 39 |
| Berechnung des Hubsystems.....               | 41 |
| Iteration der Berechnung des Hubsystems..... | 61 |
| Berechnung Fahrsystem.....                   | 70 |
| Zusammenfassung der Ergebnisse.....          | 77 |
| Planungsunterlagen.....                      | 77 |
| Quellen.....                                 | 78 |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Stahlbeton.....                     | 13 |
| Abbildung 2: Vorlage.....                        | 14 |
| Abbildung 3: Odyssee.....                        | 17 |
| Abbildung 4: Pooldeck geschlossen.....           | 18 |
| Abbildung 5: Pooldeck offen.....                 | 18 |
| Abbildung 6: Open-Air-Dach 1.....                | 19 |
| Abbildung 7: Open-Air-Dach 2.....                | 19 |
| Abbildung 8: Vergleich Duplexsystem.....         | 27 |
| Abbildung 9: Freiraum.....                       | 28 |
| Abbildung 10: Kettenzug.....                     | 34 |
| Abbildung 11: Triebstock mit Kettengetriebe..... | 35 |
| Abbildung 12: Triebstock mit Kegelgetriebe.....  | 36 |
| Abbildung 13: Hebelarm aus der Vorlage.....      | 37 |
| Abbildung 14: Hebelarm mit Kettenrad.....        | 38 |
| Abbildung 15: Hebel Variante 1.....              | 40 |
| Abbildung 16: Hebel Variante 2.....              | 40 |
| Abbildung 17: Hebel Variante 3.....              | 41 |
| Abbildung 18: Teilsystem A.....                  | 41 |
| Abbildung 19: Teilsystem B.....                  | 42 |
| Abbildung 20: Hubantrieb mit Übersetzung.....    | 45 |
| Abbildung 21: Flanschlager.....                  | 52 |
| Abbildung 22: Adapter.....                       | 72 |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Zeichenerklärung.....                                            | 10 |
| Tabelle 2: Anforderungsliste.....                                           | 15 |
| Tabelle 3: Funktionsanalyse.....                                            | 16 |
| Tabelle 4: Abschätzung von Korrosivitätskategorien aus DIN EN ISO 9223..... | 26 |
| Tabelle 5: Kettenzug.....                                                   | 34 |
| Tabelle 6: Triebstock mit Kettengetriebe.....                               | 35 |
| Tabelle 7: Triebstock mit Kegelgetriebe.....                                | 36 |
| Tabelle 8: angetriebene Räder.....                                          | 36 |
| Tabelle 9: Hebelarm mit Gewindestange.....                                  | 37 |
| Tabelle 10: Hebelarm mit Kettenrad.....                                     | 38 |
| Tabelle 11: Gewindehubgetriebe.....                                         | 39 |
| Tabelle 12: Intervall Ersatzrohr.....                                       | 54 |
| Tabelle 13: Durchmesserbestimmung.....                                      | 54 |
| Tabelle 14: Intervall A.....                                                | 64 |
| Tabelle 15: Intervall B.....                                                | 64 |
| Tabelle 16: Durchmesserberechnung.....                                      | 65 |
| Tabelle 17: Intervall für Dicke.....                                        | 73 |
| Tabelle 18: Berechnung der Dicke.....                                       | 73 |



| Zeichenerklärung |                                       |                  |                                  |                      |
|------------------|---------------------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------|
| Zeichen          | Erklärung                             | Einheit          | Standard-Einheit                 | SI-Einheit           |
| $r$              | Radius                                | $mm$             | $m = 10^3 mm$                    | $m$                  |
| $d$              | Durchmesser                           | $mm$             | $m = 10^3 mm$                    | $m$                  |
| $D$              | Außendurchmesser                      | $mm$             | $m = 10^3 mm$                    | $m$                  |
| $s$              | Weg                                   | $mm$             | $m = 10^3 mm$                    | $m$                  |
| $b$              | Breite                                | $mm$             | $m = 10^3 mm$                    | $m$                  |
| $t$              | Dicke                                 | $mm$             | $m = 10^3 mm$                    | $m$                  |
| $l$              | Länge                                 | $mm$             | $m = 10^3 mm$                    | $m$                  |
| $A$              | Fläche                                | $mm^2$           | $m^2 = 10^6 mm^2$                | $m^2$                |
| $A_{proj}$       | projizierte Fläche                    | $mm^2$           | $m^2 = 10^6 mm^2$                | $m^2$                |
| $V$              | Volumen                               | $m^3$            | $m^3$                            | $m^3$                |
| $W$              | Widerstandsmoment                     | $mm^3$           | $m^3 = 10^9 mm^3$                | $m^3$                |
| $W_{pol}$        | polares Widerstandsmoment             | $mm^3$           | $m^3 = 10^9 mm^3$                | $m^3$                |
| $\alpha$         | Winkel zwischen Horizontale und Hebel | $^\circ$         | $1 = \frac{\pi}{180} ^\circ$     | 1                    |
| $t_s$            | Zeit                                  | $s$              | $s$                              | $s$                  |
| $m$              | Masse                                 | $kg$             | $kg$                             | $kg$                 |
| $m_{gl}$         | Masse des Glases                      | $kg$             | $kg$                             | $kg$                 |
| $m_{st}$         | Masse des Stahls                      | $kg$             | $kg$                             | $kg$                 |
| $\omega$         | Winkelgeschwindigkeit                 | $\frac{1}{s}$    | $\frac{1}{s}$                    | $\frac{1}{s}$        |
| $n$              | Drehzahl                              | $\frac{1}{min}$  | $\frac{1}{s} = 60 \frac{1}{min}$ | $\frac{1}{s}$        |
| $v$              | Geschwindigkeit                       | $\frac{m}{s}$    | $\frac{m}{s}$                    | $\frac{m}{s}$        |
| $g$              | Ortsfaktor                            | $\frac{m}{s^2}$  | $\frac{m}{s^2}$                  | $\frac{m}{s^2}$      |
| $\rho$           | Dichte                                | $\frac{kg}{m^3}$ | $\frac{kg}{m^3}$                 | $\frac{kg}{m^3}$     |
| $F$              | Kraft                                 | $N$              | $N$                              | $\frac{kg * m}{s^2}$ |
| $F_G$            | Gewichtskraft                         | $N$              | $N$                              | $\frac{kg * m}{s^2}$ |
| $F_{Ax}$         | Axialkraft(Hebel)                     | $N$              | $N$                              | $\frac{kg * m}{s^2}$ |

|                  |                            |                  |                                       |                        |
|------------------|----------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------|
| $F_s$            | Seilkraft                  | $N$              | $N$                                   | $\frac{kg * m}{s^2}$   |
| $M$              | Drehmoment                 | $Nm$             | $Nm$                                  | $\frac{kg * m^2}{s^2}$ |
| $P$              | Motorleistung              | $W$              | $W$                                   | $\frac{kg * m^2}{s^3}$ |
| $\sigma_{zul}$   | zulässige Zugspannung      | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{N}{m^2} = 10^6 \frac{N}{mm^2}$ | $\frac{kg}{m * s^2}$   |
| $\sigma_z$       | Zugspannung                | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{N}{m^2} = 10^6 \frac{N}{mm^2}$ | $\frac{kg}{m * s^2}$   |
| $\sigma_{b,zul}$ | zulässige Biegespannung    | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{N}{m^2} = 10^6 \frac{N}{mm^2}$ | $\frac{kg}{m * s^2}$   |
| $\sigma_b$       | Biegespannung              | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{N}{m^2} = 10^6 \frac{N}{mm^2}$ | $\frac{kg}{m * s^2}$   |
| $\tau_{zul}$     | zulässige Torsionsspannung | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{N}{m^2} = 10^6 \frac{N}{mm^2}$ | $\frac{kg}{m * s^2}$   |
| $\tau_t$         | Torsionsspannung           | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{N}{m^2} = 10^6 \frac{N}{mm^2}$ | $\frac{kg}{m * s^2}$   |
| $p_{zul}$        | zulässige Flächenpressung  | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{N}{m^2} = 10^6 \frac{N}{mm^2}$ | $\frac{kg}{m * s^2}$   |
| $p$              | Flächenpressung            | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{N}{m^2} = 10^6 \frac{N}{mm^2}$ | $\frac{kg}{m * s^2}$   |
| $S$              | Sicherheit                 | 1                | 1                                     | 1                      |
| $n_s$            | Anzahl der Schrauben       | 1                | 1                                     | 1                      |
| $i$              | Übersetzung                | 1                | 1                                     | 1                      |

Tabelle 1: Zeichenerklärung

## Formelerklärung

$$m = V * \rho$$

Die Masse ist das Produkt aus Volumen und Dichte eines Körpers.

$$F_G = m * g$$

Die Gewichtskraft erhält man aus der Masse multipliziert mit dem Ortsfaktor.

$$P = M * \omega$$

Die Leistung eines Motors ist das Produkt aus Drehmoment und Winkelgeschwindigkeit.

$$M = F * r$$

Das Moment berechnet man aus dem Produkt einer Kraft, die rechtwinklig an einem Hebelarm angreift. Der Hebelarm bezeichnet dabei den Abstand der Drehachse eines Körpers zu der angreifenden Kraft.

$$\omega = \frac{v}{r}$$

Die Winkelgeschwindigkeit ist die Umfangsgeschwindigkeit eines kreisförmigen Körpers dividiert durch den Radius.

$$v = \frac{s}{t_s}$$

Die Geschwindigkeit ist der Quotient aus dem Weg durch die Zeit.

$$n = \frac{\omega}{2 * \pi}$$

Die Drehzahl errechnet man aus der Winkelgeschwindigkeit geteilt durch 2 mal Pi.

$$A = l_1 * l_2$$

Rechteckige Flächen ergeben sich aus dem Produkt der Kantenlängen.

$$A_{proj} = d * t$$

Die projizierte Fläche bezeichnet eine dreidimensionale Mantelfläche eines Körpers, die in eine zweidimensionale Ebene projiziert wird. Für eine Bohrungen in einem Körper errechnet sich die projizierte Fläche aus dem Durchmesser der Bohrung multipliziert mit der Dicke des Körpers.

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$

Die Flächenpressung berechnet sich aus der angreifenden Kraft, die senkrecht auf eine Fläche wirkt, geteilt durch die projizierte Fläche.

$$\sigma_z = \frac{F}{A}$$

Die Zugspannung eines Körpers errechnet man aus der Zugkraft geteilt durch den Querschnitt.

$$\sigma_b = \frac{M}{W}$$

Die Biegespannung ist der Quotient aus dem Drehmoment durch das Widerstandsmoment.

$$\tau_t = \frac{M}{W_{pol}}$$

Die Torsionsspannung berechnet sich aus dem Drehmoment geteilt durch das polare Widerstandsmoment.

$$W = \frac{\pi}{32} * d^3$$

Für einen Kreisquerschnitt kann man das Widerstandsmoment aus Pi multipliziert mit dem Durchmesser hoch den Exponenten 3. Dieses Ergebnis wird durch 32 geteilt.

$$W_{pol} = \frac{\pi}{16} d^3$$

Das polare Widerstandsmoment für einen Kreisquerschnitt errechnet sich aus Pi geteilt durch 16 und anschließend multipliziert mit dem Durchmesser zur dritten Potenz.

$$W_{pol} = \frac{\pi * (D^4 - d^4)}{16 * D}$$

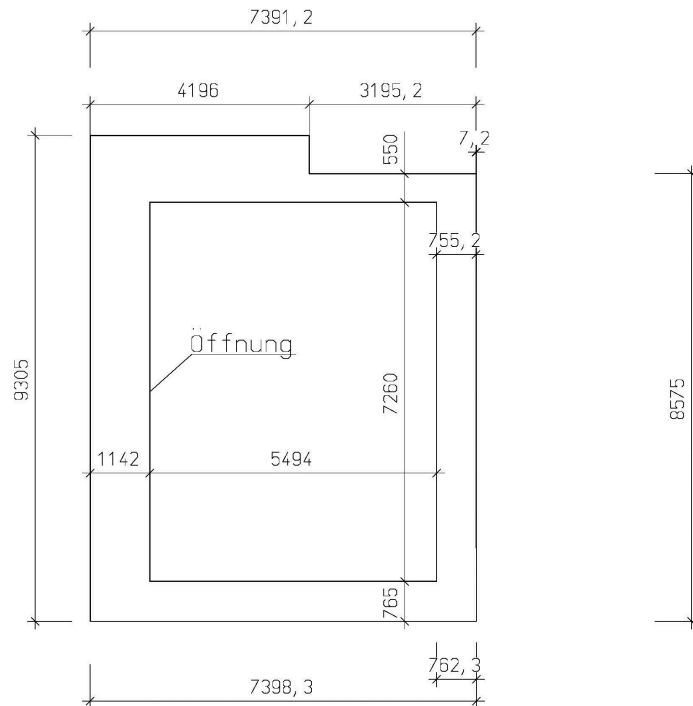
Das polare Widerstandsmoment für einen Kreisringquerschnitt errechnet man aus der Differenz von der vierten Potenz des Außendurchmessers minus der vierten Potenz des Innendurchmessers. Dieses Ergebnis wird mit Pi geteilt durch 16 und dem Außendurchmesser multipliziert.

$$D = d + 2 * t$$

Der Außendurchmesser kann aus dem Innendurchmesser plus der doppelten Wandstärke errechnet werden.

## Erläuterung der Aufgabenstellung

Vor Beginn meiner Arbeit waren schon Entwürfe und Berechnungen für die verfahrbare Dachkonstruktion getätigt worden. Aus diesen Vorgaben geht hervor, dass die Dachkonstruktion zur Abdeckung einer Öffnung in einer Stahlbeton-Decke mit vorgegebenen Abmaßen (siehe Abbildung 1) genutzt werden soll. Unter der Öffnung befindet sich Wasser, das nicht verunreinigt werden darf. Außerdem soll die Dachkonstruktion durch eine einachsige Bewegung geöffnet werden. Trotz dieser Bewegung muss die Dachkonstruktion gegen eindringende Feuchtigkeit abgedichtet werden, indem man an der Dachkonstruktion flexible Dichtungsmaterialien anbringt, die zwischen der Dachkonstruktion und dem Stahlbeton platziert werden. Durch die Relativbewegung beim Verfahren wird diese Abdichtung schnell durch die Reibung verschleifen. Um dem entgegen zu wirken soll ein Anheben der Dachkonstruktion realisiert werden.



*Abbildung 1: Stahlbeton*

Des weiteren ist bekannt, dass die Dachkonstruktion aus vier miteinander verschraubten Segmenten bestehen soll. Drei dieser Segmente werden verglast und befinden sich im geschlossenen Zustand über der Öffnung des Stahlbetons, wobei das vierte Segment für den Antrieb und andere Funktionen genutzt werden kann. Außerdem hält die Segmentbauweise die Transporte zur Fertigung, zum Korrosionsschutz oder zur Montage einfach. Die Segmente werden dabei in LKW transportiert, die eine Ladefläche von 6000 mm x 2500 mm besitzen, was von den Segmenten neben den Abmaßen der Öffnung im Stahlbeton eingehalten werden muss.

Darüber hinaus wird die Dachkonstruktion im geöffneten Zustand sich in einer Lagerbox befinden. Eine Vorlage der Konstruktion mit Andeutung der Lagerbox und der Umgebung ist in Abbildung 2 zu sehen.

In dieser Vorlage wurden bereits Lösungsversuche zum Hub- und zum Fahrmechanismus intrigiert. Zum Anheben wurde ein Wagenheber genutzt, der in der Abbildung 13 dargestellt ist und über eine Gewindestange angetrieben wird. Die Gewindestange würde sich jedoch vom Verhältnis eins zu zwei zur Dachkonstruktion mit anheben, was ein noch nicht gelöstes Problem darstellt. Das Verfahren nutzt einen Kettenzug, der an der Lagerbox und am vierten Segment befestigt ist. Diese Lösungsvarianten werden bei der Variantenaufstellung auf der Seite 20 mit aufgeführt und nochmals betrachtet.

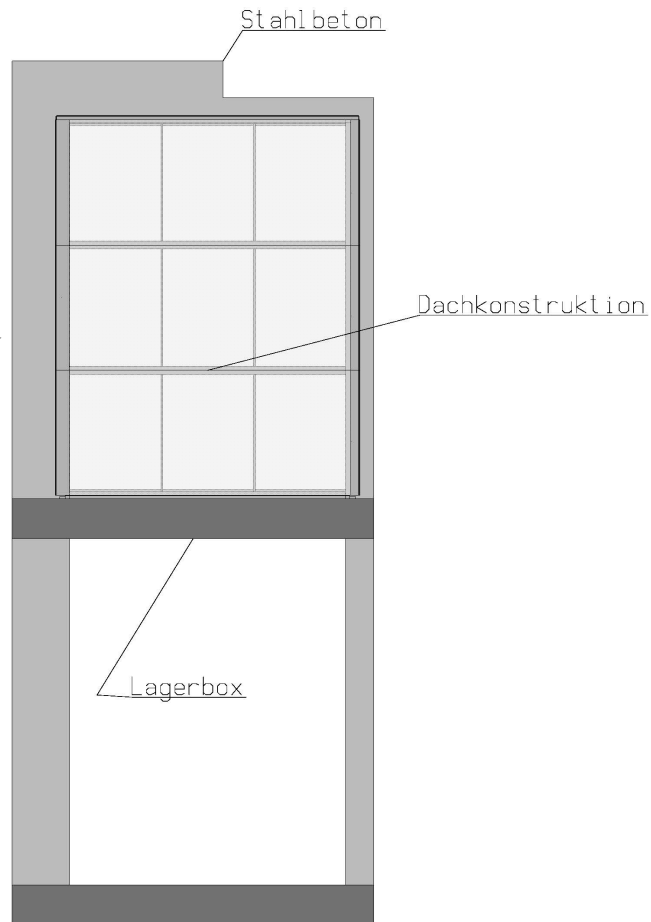


Abbildung 2: Vorlage

## Anforderungsliste

Die Anforderungen wurden aus der Aufgabenstellung und Gesprächen mit dem Auftraggeber und Kollegen der GOSAG GmbH erstellt.

| F-Forderung<br>W-Wunsch | Nr. | Anforderung                                                                                                                                            |
|-------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F                       | 1   | Einachsiges Verfahren                                                                                                                                  |
| F                       | 2   | Heben der Konstruktion                                                                                                                                 |
| F                       | 3   | Max. Höhe von 450mm über Stahlbeton                                                                                                                    |
| F                       | 4   | Abdichtung gegen Niederschlag                                                                                                                          |
| F                       | 5   | Korrosionsschutz                                                                                                                                       |
| F                       | 6   | Vermeidung von Wärmebrücken                                                                                                                            |
| F                       | 7   | Dämmung zwischen Dachkonstruktion und Öffnung sowie zwischen Lagerbox und der Umgebung                                                                 |
| W                       | 8   | Kondensatbildung minimieren                                                                                                                            |
| F                       | 9   | Segmentbauweise max. 6m x 2,5m                                                                                                                         |
| W                       | 10  | Reib- und Verschleißflächen minimieren                                                                                                                 |
| F                       | 11  | Gute Wartbarkeit von Verschleißteilen                                                                                                                  |
| F                       | 12  | Keine Verunreinigung der Umgebung                                                                                                                      |
| F                       | 13  | Keine Leckage von Ölen, Fetten, Schmierstoffen                                                                                                         |
| F                       | 14  | Im geschlossenen Zustand ist die Dachkonstruktion komplett in der Lagerbox und im geöffneten Zustand befindet sich das vierte Segment in der Lagerbox. |
| W                       | 15  | Rahmenkonstruktion kann in verschiedenen Farben beschichtet werden.                                                                                    |
| F                       | 16  | Äußere Rahmenelemente bleiben über Stahlbeton                                                                                                          |
| F                       | 17  | Spätere Verglasung des Rahmens vorsehen                                                                                                                |
| F                       | 18  | Langsames Anheben; Dauer rund 5s                                                                                                                       |
| F                       | 19  | Zügiges herausfahren v rund 3m/min                                                                                                                     |
| F                       | 20  | Lebensdauer mindestens 20 Jahre                                                                                                                        |
| W                       | 21  | Einfache, logische Montage                                                                                                                             |
| W                       | 22  | Fertigung unter Verwendung von Schweiß- und Kantteilen                                                                                                 |
| F                       | 23  | Gute Schweißbarkeit                                                                                                                                    |
| W                       | 24  | Bevorzugtes Material S235JRG                                                                                                                           |
| F                       | 25  | Kein/unbedeutendes Verletzungsrisiko                                                                                                                   |
| F                       | 26  | Kompakte Bauweise                                                                                                                                      |
| F                       | 27  | Zwei Zyklen von Öffnung und Schließung pro Tag                                                                                                         |

*Tabelle 2: Anforderungsliste*

# Funktionsanalyse

| Nr. | Einzelfunktion   |
|-----|------------------|
| 1   | Fahrmechanismus  |
| 2   | Hubmechanismus   |
| 3   | Kraftleitung     |
| 4   | Lagerung         |
| 5   | Wasserableitung  |
| 6   | Korrosionsschutz |

*Tabelle 3: Funktionsanalyse*

## Ausblick

Für die Auslegung der Antreibe muss jeweils das Drehmoment und die Drehzahl bekannt sein. Diese Angaben können durch das Gewicht der verfahrenen Konstruktion und einige Abmaße der Mechanismen berechnet werden. Um mit der Aufgabe anzufangen muss zuerst bestimmt werden wie der Hub- beziehungsweise der Fahrmechanismus aussieht.

Dazu fange ich mit der Aufstellung verschiedener Varianten an. Diese müssen anschließend auf Plausibilität überprüft und gegeneinander abgewogen werden. Anschließend werden die besten Varianten vergleichen um die optimale Lösung zu finden.

## Stand der Technologie

Es existieren bereits verfahrbare Konstruktionen, die jedoch in ihren Abmessungen oder in ihrer Funktionsweise wie sie angeboten werden für die umfangreiche Anforderungen nicht konzipiert wurden.



Beispiele hierfür sind:

Odyssee Abdeckungssystem von Hydra Systeme



*Abbildung 3: Odyssee*

Dieses System fährt eigenständig ohne Führung über die Öffnung und wickelt dabei die Abdeckung aus. Vorteile dieses Systems sind der geringe Platzbedarf und die eigenständige Bewegung. Dafür bietet diese Möglichkeit keinerlei Abdichtung oder Dämmung.

## Das verfahrbare Pooldeck der Hacker AG



*Abbildung 4: Pooldeck geschlossen*



*Abbildung 5: Pooldeck offen*

Diese Möglichkeit bietet eine eigenständig verfahrbare Abdeckung, die gegen die Umwelt abdichtet und dämmt. Der Nachteil dieser Konstruktion liegt in der fehlenden Verglasung.

## Open-Air-Dach der Trendelkamp Technologie GmbH



*Abbildung 6: Open-Air-Dach 1*



*Abbildung 7: Open-Air-Dach 2*

Diese verfahrbare Dachkonstruktion wird als komplettes Dach verfahren, wobei die Dichtung in den Wänden sitzt und über einen Kompressor aufgebläht wird. Diese Lösung ist verglast und erfüllt die Anforderung an Dichtheit und Dämmung, jedoch nimmt sie zu viel Platz ein und bedarf eines Kompressors in der Nähe.

# Variantenaufstellung

## **Fahrmechanismus**

### angetriebene Räder:

Dezentrale Motoren treiben jeweils ein Rad an, dabei muss ein Gleichlauf der Motoren gewährleistet werden.

### Ketten-/Seilzug/Zahnriemen:

Ein bis zwei gleichlaufende Motoren treiben Kettenzüge an, die an der Dachkonstruktion und der Lagerbox befestigt sind.

### Hydraulikzylinder:

Ein bis zwei Hydraulikzylinder, die an der Umgebung und dem Rahmen befestigt sind, bewegen die Dachkonstruktion.

### Zahnstangenantrieb:

Die Rotation des getriebenen Zahnrades wird in eine lineare Bewegung mit Hilfe der Zahnstange verwandelt. Die Dachkonstruktion wird durch die befestigten Zahnstangen geführt.

### Triebstock:

Der Triebstock führt das getriebene Triebstockrad. Die Rotation des Triebstockrades wird in eine lineare Bewegung verwandelt.

## **Hubmechanismus**

### Hebelarm:

Durch die Neigungsänderung der Hebelarme zwischen den Segmenten und einer durchgehenden Zugstange mit Rädern wird die Dachkonstruktion angehoben. Die Zugstange ist sowohl an den Rädern als auch an einem Antrieb befestigt, der den Abstand von dem ersten Hebelarm zum Antrieb verringert.

### Gewindehub:

Durch Spindel- oder Gewindehub wird die Höhe der Rahmen geändert. Der Antrieb sitzt hierbei dezentral an jedem Auflager.

### Hydraulik:

Hydraulikzylinder heben die Dachkonstruktion an.

### Zahnstangenantrieb:

Senkrecht geführte Zahnstangen und die dazugehörigen Zahnräder heben die Dachkonstruktion. Die Zahnräder sind auf einer Welle je Seite gereiht, die durch einen oder zwei Motoren angetrieben werden.

## **Nebenfunktionen**

### Kraftleitung

- Wellen
- Kettenradgetriebe
- Kegelgetriebe
- Lastketten

### Lagerung

- Kugellager
- Pendelrollenlager
- Sicherungsring
- Keil
- Pressverbindung
- Passfeder
- Schraubverbindung
- Rollen

### Wasserableitung

- einseitiges Gefälle
- beidseitiges Gefälle

### Abdichtung

- flexibles Dichtungsmaterial
  - Gummi
  - Silikon
- pneumatische Abdichtung
- mechanische Abdichtung

### Wärmedämmung

- Dämmmaterial
- Vermeidung von Wärmebrücken

### Korrosionsschutz

- Beschichtung
  - Feuerverzinken
  - Spritzverzinken
  - Farbe
- korrosionsbeständiges Material
- Kapselung

# Plausibilitätsüberprüfung

## ***Fahrmechanismus***

### angetriebene Räder:

Die Räder sollen wegen der Durchbiegung der Segmente möglichst nahe an der Öffnung sein und wenig Platz gebrauchen, dies erfordert einen kleinen Antrieb, der trotzdem die nötige Leistung bringt.

### Ketten-/Seilzug:

Der Ketten- beziehungsweise Seilzug kann fast beliebig am 4. Segment und an der Lagerbox angebracht werden. Es ist dabei darauf zu achten, dass die resultierende Zugkraft am Schwerpunkt der Dachkonstruktion angreift und dass die Kette oder das Seil immer gespannt sind.

### Hydraulikzylinder:

Bei der Nutzung von Hydraulikzylindern ist eine Leckage nicht auszuschließen und es wird viel Platz für eine Pumpe und einen Ausgleichsbehälter benötigt.  
Diese Variante entfällt aus den späteren Betrachtungen.

### Zahnstangenantrieb:

Die Zahnstange zur Führung der Dachkonstruktion muss ziemlich breit sein bei einer Anbringung an der Wand oder es muss für eine Höhenverstellung gesorgt werden um den Hub auszugleichen.

### Triebstock:

Der Triebstock besitzt die gleichen Probleme wie die Zahnstange, aber hat den Vorteil, dass die Fertigung größere Toleranzen zulässt, was zu geringeren Kosten und einen leichteren Ausgleich des Hubs führt.

Durch die Vorteile des Triebstocks gegenüber eines Verfahrens per Zahnrad wird das Zahnrad nicht mehr betrachtet.

## **Hubmechanismus**

### Hebelarm:

Ein Hebelarm kann mit verschiedenen Ansätzen der Kraftleitung realisiert werden. Dazu bedarf es genauerer Betrachtung.

### Gewindehub:

Das Gewindehubgetriebe muss axiale und radiale Kräfte aufnehmen können.

### Hydraulik:

Wie schon bei dem Verfahren mit Hydraulikzylindern gesagt sind Leckage und der Platzbedarf große Hindernisse.

Diese Variante entfällt aus den späteren Betrachtungen.

### Zahnstangenantrieb:

Senkrecht stehende Zahnstangen haben eine hohe statische Belastung und eine hohe Pressung zwischen den Zahnflanken. Eine Reibung zwischen den Zahnrad und der Zahnstange muss vermieden werden, was durch eine Führung bewältigt werden muss. Dies erfordert viel Aufwand um die Nachteile dieser Variante zu beheben.

Diese Variante entfällt aus den späteren Betrachtungen.

## **Nebenfunktionen**

### einseitiges/beidseitiges Gefälle:

Das beidseitige Gefälle halbiert die Höhe, die für das Gefälle bei gegebenen Winkel gebraucht wird, zusätzlich wird eine symmetrische Verteilung der Masse gefördert.

Für das einseitige Gefälle spricht die einfachere Fertigung und Montage, da es nur eine zu verglasende Fläche gibt. Auch ist ein Abfluss für das Wasser auf nur einer Seite anzubringen.

### Kraftleitung und Lagerung:

wird je nach Hub- beziehungsweise Fahrmechanismus ausgewählt und weiter in den speziellen Varianten betrachtet.

### Abdichtung:

Gummidichtungen werden hauptsächlich verwendet um gegen Wasser abzudichten. Nur wenn Spalte auftreten, die zu klein sind für Dichtprofile, wird eine Silikondichtung verwendet.

### Wärmedämmung:

Die Verwendung von Dämmmaterial und die Vermeidung von Wärmebrücken sind grundsätzliche Methoden um die Dachkonstruktion abzdämmen.

### Korrosionsschutz

Der Korrosionsschutz muss in jedem Fall betrachtet werden.

## **Zwischenstand**

Die Ideen für verschiedene Realisierungsmöglichkeiten wurden aufgestellt und auf Plausibilität geprüft. Man kann nun mit der Aufstellung von Lösungen für das einachsige Verfahren und Anheben der Dachkonstruktion fortfahren. Des weiteren werde ich mich mit der Auswahl eines geeigneten Korrosionsschutzes beschäftigen wie es zu meinen Aufgaben zählt.

Während ich die verschiedenen Varianten aufgestellt habe wurden unterdes einige Entscheidungen im Unternehmen getroffen, auf die ich kurz eingehen will. Für die Dachkonstruktion wurde ein einseitiges Gefälle bestimmt. Die Dämmung der Dachkonstruktion nutzt verschiedene Möglichkeiten. Eine Isolier-Verglasung wird auf den Segmenten montiert. Dazu werden zurechtgeschnittene Sandwichpanele verwendet, um zwischen Verglasung und Stahlbeton-Decke zu dämmen. Innerhalb der Hohlprofile wird Dämmmaterial als zusätzlicher Schutz eingebracht. Zur Abdichtung gegen Feuchtigkeit nutzt man Gummiprofile an der Unterseite der Segmente, Kantbleche werden für die Schnittkantenabdeckung der Sandwichpanele verwendet und Silikon dichtet noch auftretende Fugen ab.

## **Korrosionsschutz**

Für die Auswahl des Korrosionsschutzes wird nach DIN EN ISO 9223 vorgegangen, indem die typischen atmosphärischen Umgebungsbedingungen betrachtet werden und man daraus die Korrosivitätskategorie, die Korrosionsschutzklasse, auswählt.

Die Umgebung besitzt eine hohe Kondensatbildung, mäßige Luftverunreinigung und eine geringe Beeinflussung durch Salzen, demnach kann man der Tabelle 4, die aus der oben stehenden DIN entnommen wurde, entnehmen, dass es sich hierbei um die Kategorie C3 handelt.



| Korro-<br>sivitäts-<br>kategorie | Korro-<br>sivität | typische Umgebungen - Beispiele                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  |                   | Innen                                                                                                                                                                                                                                      | Im Freien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| C1                               | unbe-<br>deutend  | Beheizte Räume mit niedriger relativer Luftfeuchte und unbedeutender Luftverunreinigung, zum Beispiel Büros, Schulen, Museen.                                                                                                              | Trockene oder kalte Klimazone, atmosphärische Umgebung mit sehr geringer Verunreinigung und kurzer Befeuchtungsdauer, zum Beispiel bestimmte Wüstengebiete, Zentrum der Arktis/Antarktis.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| C2                               | gering            | Unbeheizte Räume mit schwankender Temperatur und relativer Luftfeuchte. Seltene Kondensation und geringe Luftverunreinigung, zum Beispiel Lager, Sporthallen.                                                                              | Gemäßigte Klimazone, atmosphärische Umgebung mit geringer Luftverunreinigung ( $\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), zum Beispiel ländliche Gebiete, kleine Städte. Trockene oder kalte Klimazone, atmosphärische Umgebung mit kurzer Befeuchtungsdauer, zum Beispiel bestimmte Wüsten, subarktische Regionen.                                                                                                                                                  |
| C3                               | mäßig             | Räume mit gelegentlicher Kondensation und mäßiger Luftverunreinigung aus Produktionsprozessen, zum Beispiel Anlagen zur Lebensmittelherstellung, Wäschereien, Brauereien, Molkereien.                                                      | Gemäßigte Klimazone, atmosphärische Umgebung mit mäßigen Luftverunreinigungen ( $\text{SO}_2$ : $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), oder mit geringer Beeinflussung durch Chloride, zum Beispiel Stadtgebiete, Küstenbereiche mit geringen Ablagerungen von Chloriden. Subtropische und tropische Klimazone, Atmosphäre mit geringen Verunreinigungen.                                                                                      |
| C4                               | stark             | Räume mit häufiger Kondensation und hoher Luftverunreinigung aus Produktionsprozessen, zum Beispiel Industrieanlagen, Schwimmbäder.                                                                                                        | Gemäßigte Klimazone, atmosphärische Umgebung mit hoher Luftverunreinigung ( $\text{SO}_2$ : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), oder mit wesentlicher Beeinflussung durch Chloride, zum Beispiel Stadtgebiete mit Luftverunreinigungen, Industriegebiete, Küstenbereiche, nicht im Bereich von Salzwasser Sprühnebel, starke Belastung durch Enteisungssalze. Subtropische und tropische Klimazone, Atmosphäre mit mäßiger Verunreinigung. |
| C5                               | sehr<br>stark     | Räume mit sehr hoher Häufigkeit der Kondensation und/oder hoher Luftverunreinigung aus Produktionsprozessen, zum Beispiel Bergwerke, Hohlräume für industrielle Zwecke, nicht belüftete Hallen in subtropischen und tropischen Klimazonen. | Gemäßigte und subtropische Klimazone, atmosphärische Umgebung mit sehr hoher Luftverunreinigung ( $\text{SO}_2$ : $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), und/oder mit starker Beeinflussung durch Chloride, zum Beispiel Industriegebiete, Küstenbereiche, geschützte Stellen an der Küstenlinie.                                                                                                                                            |

|    |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CX | extrem | Räume mit nahezu ständiger Kondensation oder ausgedehnten Belastungszeiten bei extrem hoher Luftfeuchte und/oder Räume mit hoher Luftverunreinigung aus Produktionsprozessen, zum Beispiel nicht belüftete Hallen in feucht tropischen Klimazonen mit eindringender Verunreinigung aus der Außenluft, einschließlich in der Luft enthaltener Chloride und korrosionsfördernden Staubs. | Subtropische und tropische Klimazone (sehr lange Befeuchtungsdauer), atmosphärische Umgebung mit einer sehr hohen Luftverunreinigung durch SO <sub>2</sub> (mehr als 250 µg/ m <sup>3</sup> ) einschließlich begleitender und produktionsbedingter Verunreinigungen und/oder stark beeinflusst durch Chloride, zum Beispiel Gebiete mit intensiver industrieller Nutzung mit extrem hoher Verunreinigung, Küsten- und Offshore-Bereiche, zufälliger Kontakt mit Salzsprühnebel. |
|----|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Tabelle 4: Abschätzung von Korrosivitätskategorien aus DIN EN ISO 9223*

Nach der Ermittlung der Korrosionsschutzklasse wird nun das Verfahren gewählt, das den benötigten Schutz aufbringen kann.

Das Aufbringen einer Zinkschicht durch Feuerverzinken ist eine viel genutzte und sichere Möglichkeit, die jedoch Wärme ins Material einbringt, wodurch sich die einzelnen Teile verziehen können.

Das Aufbringen einer Farbbeschichtung ist in den Bereichen der beweglichen Teile nicht sicher genug, da die Farbbeschichtung eine geringe mechanische Belastbarkeit besitzt.

Die Verwendung korrosionsbeständiger Materialien für die komplette Konstruktion ist wirtschaftlich nicht vertretbar.

Eine komplette Abkapselung gegenüber der Umwelt ist auf Grund der Hub- und Fahrbewegung sowie der Tatsache, dass die Öffnung im geschlossenen Zustand der Dachkonstruktion frei sein soll, nicht möglich.

Es existiert noch die Möglichkeit des Spritzverzinkens. Diese Art des Verzinkens bringt im Verhältnis zum Feuerverzinken weniger Wärme in die Profile ein, da die Bauteile nicht in ein Zinkbad wie beim Feuerverzinken eingelassen werden, sondern die Bauteile werden mit einer Düse ähnlich wie beim Lackieren mit flüssigen Zink überzogen. Darüber hinaus bietet die rauere Oberfläche dieses Verfahrens eine bessere Haftfläche für eine anschließende Farbbeschichtung, die farblich frei gestaltet werden kann.

Verzinken mit anschließender Farbbeschichtung bezeichnet man als Duplexsystem. Dieses System bietet eine um 1,2 bis 2,5 fach längere Schutzdauer gegen Korrosion als die Summe der einzelnen Komponenten. Die Wechselwirkungen zwischen Zink und Farbbeschichtung sieht man in Abbildung 8. Die Farbbeschichtung schützt die Zinkschicht vor allen Einflüssen bis diese bricht oder korrodiert ist. An den freien Stellen übernimmt die Zinkschicht die Aufgabe des Korrosionsschutzes, selbst wenn dann die Zinkschicht an einigen Stellen korrodiert ist. wirkt das übrige Zink als Opferanode und schützt den Stahl vor Korrosion. Dazu kommt die schon erwähnte Freiheit der farblichen Gestaltung der Oberfläche.

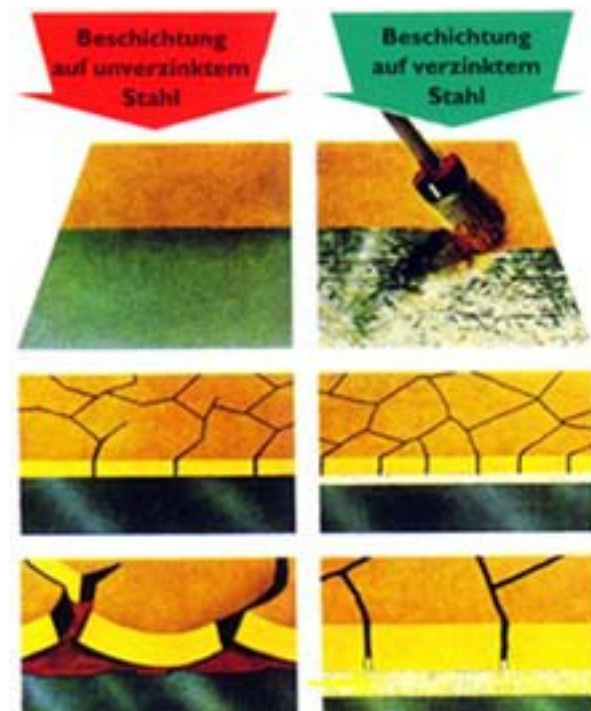


Abbildung 8: Vergleich Duplexsystem

## Spezifikation Hub- und Fahrsystem

Viele Varianten sind von dem vorhanden Platz, der für die einzelnen Komponenten zur Verfügung steht abhängig. Daher wurden im Unternehmen einige Gespräche zu der Abdichtung und den Umgebungsbedingungen geführt. Daraus ergaben sich folgende Abmaße, die in der Abbildung 9 dargestellt sind. Die Dichtung soll 5mm eingedrückt werden und besitzt eine Höhe von 60mm, außerdem soll die horizontale Dämmung an der Oberkante der Rahmen, die aus HR 140x80x4 bestehen, beginnen. Der lichte Raum zwischen Rahmen und vertikaler Dämmung beträgt 120mm.

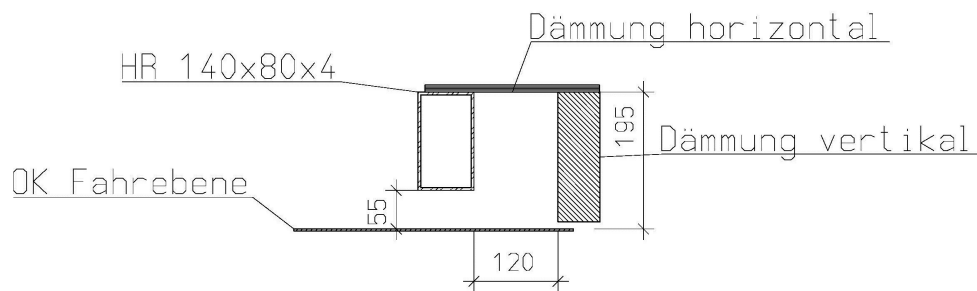


Abbildung 9: Freiraum

## Fahrsystem

### I.A

Für den Ketten- beziehungsweise Seilzug kann der Antrieb am vierten Segment oder an der Lagerbox befestigt werden. An der Lagerbox wird außerdem eine Spanneinrichtungen und die Halterung für die Seilrollen oder Kettenräder angebracht. Die Spanneinrichtung dient hierbei auch zum Ausgleich des Hubs.

Für diese Variante wird eine Verbindung des Zugmittels mit der Dachkonstruktion benötigt. Dabei ist die Verwendung einer Rollenkette, die mit dem vierten Segment verschraubt werden kann, von Vorteil.

positiv:

Für eine Gewichtseinsparung beim Heben und Verfahren kann der Antrieb an der Lagerbox befestigt werden.

Der Hubunterschied kann durch einen Spanner leicht ausgeglichen werden.

negativ:

Bei der Platzierung des Ketten- oder Seilzuges kann es zu Kollisionen mit dem späteren Einfügen der Wärmedämmung geben.

Der Platz oberhalb der Dachkonstruktion muss für den Antrieb freigelassen werden, was nachteilig für die maximale Aufbauhöhe ist.

### I.B

Der Antrieb wird am vierten Segment befestigt. Über eine vertikale Antriebswelle treibt dieser ein gespanntes Kettengetriebe an, das auf das Triebstockrad geht. Der Triebstock ist an der Innenseite der Lagerbox oberhalb der Segmente angebracht, wobei das Spiel für das Triebstockrad groß genug sein muss, um den Hub auszugleichen.

positiv:

Der Antrieb und die Triebstockräder können beliebig zueinander platziert werden.

negativ:

In der Ebene des Kettengetriebes sollte nichts herausstehen oder es müssen zusätzliche Führungen verwendet werden um Kollisionen zu vermeiden.

Platzbedarf oberhalb der Dachkonstruktion vergrößert die Aufbauhöhe.

Die Kette muss gegen abrutschen gesichert werden.

### 1.C

Der Antrieb wird am vierten Segment befestigt, dieser treibt über Wellen ein Kegelgetriebe an, welches auf das Triebstockrad geht. Der Triebstock ist an der Innenseite der Lagerbox angebracht, wobei das Spiel für das Triebstockrad groß genug sein muss, um den Hub auszugleichen. Bei dieser Variante können die Wellen durch das Hohlprofil geführt werden, um eine geringere Aufbauhöhe zu erreichen, jedoch muss darauf geachtet werden, dass der Triebstock bei dieser niedrigen Höhe nicht mit der Halterung der Räder oder Bestandteilen des Hubsystems kollidiert.

positiv:

Die Montage der Wellen ist einfach.

Der Triebstock lässt große Toleranzen beim Eingriff zwischen Triebstock und Triebstockrad zu, was auch positiv für den Höhenunterschied beim Heben der Konstruktion ist.

negativ:

Es kann zur Kollision mit dem Hubsystem kommen.

Das Triebstockrad muss möglichst nah am Triebstock platziert werden.

### 1.D

Die Räder die neben dem Rahmen verlaufen werden durch einzelne Antriebe synchron bewegt.

positiv:

Die Kraftleitung zwischen Antrieb und Abtrieb wird auf ein Minimum reduziert.

Die Gesamtleistung wird auf viele Antriebe verteilt, was die Belastung der leitenden Elemente verringert.

negativ:

Es muss für einen Gleichlauf der Antriebe gesorgt werden, um ein Verkanten der Dachkonstruktion zu vermeiden.

Die Bahn für die Räder inklusive der Antriebe muss breit genug sein, was bei einem horizontalen Maß von 120mm schwer möglich ist.

## **Hubsystem**

### 2.A

Der Antrieb am vierten Segment treibt über Wellen ein Kegelgetriebe an, welches mit einer Gewindestange verbunden ist. Die Gewindestange führt durch die Hebelarme, die mit einem Innengewinde versehen sind, hindurch. Die Hebelarme werden an den Segmenten und den Rädern befestigt, sodass sich der Hebelarm nicht um die Gewindestange drehen kann. Wenn sich nun die Gewindestange dreht werden die Hebelarme herangezogen oder weggedrückt, dadurch bewegen sich die Räder relativ zu den Segmenten und die Neigung der Hebelarme wird geändert.

positiv:

Das Kegelgetriebe kann dicht am Rahmen anliegen.

negativ:

Die Gewindestange muss außerhalb des Hubbereiches der Hebelarme liegen oder es muss ein Ausgleich für den Hubs gefunden werden, sonst wird auch die Höhe des Antriebs relativ zur Dachkonstruktion geändert.

Die Hebelarme müssen breiter sein, damit die Gewindestange hindurch kann.

Längung der Gewindestange muss berücksichtigt werden.

Mit der Neigung der Hebelarme ändert sich die Belastung.

### 2.B

Ein Antrieb am vierten Segment treibt über Wellen ein Kettenrad mit einer daran befestigten Kette an. Die Kette ist an dem Zugstrang der Hebelarme befestigt. Durch Heranziehen der Kette wird der Zugstrang, der mit den Rädern und den Hebelarmen verbunden ist, gezogen und die Hebelarme richten sich auf.

positiv:

Der Hubausgleich ist einfach über eine Neigungsänderung der Kette gelöst.

Die Zugstange kann beliebig platziert werden.

negativ:

Mit der Neigung der Hebelarme ändert sich die Belastung.

### 2.C

Dezentrale Antriebe betreiben je ein Gewindehubgetriebe, die die Dachkonstruktion anheben.

positiv:

Die benötigte Hubleistung bleibt konstant.

Eine Längung der Teile spielt keine Rolle.

Die aufzubringende Leistung wird auf viele Antriebe verteilt.

negativ:

Die einzelnen Gewindehubgetriebe müssen synchron laufen.

Die Getriebe müssen axiale und radiale Kräfte aufnehmen können.

Es muss ausreichend Platz für Antrieb und Gewindehubgetriebe vorhanden sein.

# Rechnungen zu den Varianten

## Hubsystem

Masse der bewegten Elemente wird überschlagen.

$$\begin{array}{ll} S=1,2 & \text{..Sicherheit} \\ m_{st}=1181\text{kg} & \text{..Masse des Stahls aus der Vorgabe} \\ m_{gl}=t*l*b*\rho & \text{..Masse des Glasplatte} \end{array}$$

Länge und Breite der Glasplatte wird der Dachfläche der Vorlage entnommen. Die Dicke wird an eine Dreifachverglasung aus dem Katalog der Raico GmbH angelehnt.

$$\begin{array}{ll} t=20\text{mm} & \text{..Dicke des Glasplatte} \\ l=7400\text{mm} & \text{..Länge der Glasplatte} \\ b=5500\text{mm} & \text{..Breite der Glasplatte} \\ \rho=2500\text{kg}/\text{m}^3 & \text{..Dichte von Glas} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} m=S*(m_{st}+m_{gl}) \\ m_{gl}=V*\rho \\ m_{gl}=t*l*b*\rho \end{array}$$

$$m_{gl}=20\text{mm}*7400\text{mm}*5500\text{mm}*2500\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{gl}=0,02\text{ m}*7,4\text{ m}*5,5\text{ m}*2500\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{gl}=2035\text{ kg}$$

$$m=1,2*(1181\text{ kg}+2035\text{ kg})$$

$$\begin{array}{l} m=3859,2\text{ kg} \\ \rightarrow \text{rund } 4\text{ t}=4000\text{ kg} \end{array}$$

### Wahl der Hebellänge

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

$$h = l \cdot \sin(\alpha)$$

$$\Delta h = l \cdot (\sin(\alpha_1) - \sin(\alpha_2))$$

Wahl:

$$\Delta h = 30 \text{ mm}$$

$\alpha_1 = 85^\circ$  bei  $90^\circ$  wird ein Neigen nur durch den Einfluss der Gewichtskraft unmöglich.

$$\alpha_2 = 45^\circ$$

$$l = \frac{\Delta h}{\sin(\alpha_1) - \sin(\alpha_2)}$$

$$l = \frac{30 \text{ mm}}{\sin(85^\circ) - \sin(45^\circ)}$$

$$l = 103,8 \text{ mm}$$

Wahl:  $l = 105 \text{ mm}$

### Fahrssystem

#### Motorauslegung

$$F_r \quad \text{..Reibungskraft}$$

$$\mu = 0,02 \quad \text{..Reibungskoeffizient nach Autoreifen auf Beton}$$

$$F_G \quad \text{..Gewichtskraft}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{..Ortsfaktor}$$

$$m = 4000 \text{ kg} \quad \text{..Masse}$$

$$r \quad \text{..Radius des Abtriebs}$$

$$v = 3 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad \text{..Geschwindigkeit}$$

$$M = F_r \cdot r$$

$$F_r = F_G \cdot \mu$$

$$F_G = m \cdot g$$

$$F_r = m \cdot g \cdot \mu$$

$$F_r = 4000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,02$$



$$F_r = 784,8 \text{ N}$$

$$n = \frac{v}{2 * \pi * r}$$

$$P = M * 2 * \pi * n$$

$$P = \frac{F_r * 2 * \pi * v}{2 * \pi}$$

$$P = F_r * v$$

$$P = 784,8 \text{ N} * 3 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$P = 39,24 \text{ W}$$

### angetriebene Räder

$$r = 41 \text{ mm} \quad \text{..Radius der Räder aus der Vorlage}$$

$$M = 32,18 \text{ Nm}$$

$$n = 11,65 \frac{1}{\text{min}}$$

## **Variantenauswahl**

### Bewertung der Varianten

Wertskala nach VDI 2225:

- 0: unbefriedigend
- 1: gerade noch tragbar
- 2: ausreichend
- 3: gut
- 4: sehr gut

Die Wertung der Kosten, der Funktionalität und des Platzbedarfs ist einfach.

## einachsiges Verfahren

### 1.A: Kettenzug

In der Abbildung 10 ist der Kettenzug schematisch eingezeichnet. Der Kettenzug muss oberhalb des höchsten Punktes der Konstruktion im angehobenen Zustand sein, damit er nicht mit der Dämmung, die die Öffnung der Lagerbox schließt, kollidiert. Dies führt zu einer hohen Lagerbox.

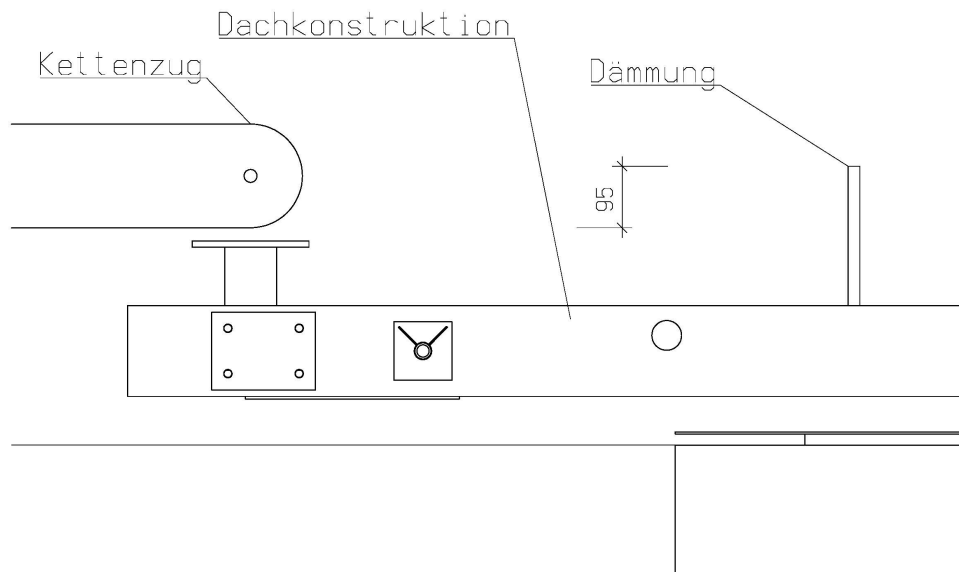


Abbildung 10: Kettenzug

| Funktion             | 1.A                          | Kosten | Funktion-<br>alität | Platzbedarf | Summe |
|----------------------|------------------------------|--------|---------------------|-------------|-------|
| Fahrmech-<br>anismus | Kettenzug                    | 3      | 3                   | 1           | 24    |
| Kraftleitung         | Kette und kurze Welle        | 3      | 4                   | 2           |       |
| Lagerung             | Spanneinrichtung und Führung | 3      | 3                   | 2           |       |

Tabelle 5: Kettenzug

### 1.B: Triebstock mit Kettengetriebe

Das Fahrsystem, das in Abbildung 11 dargestellt ist, muss die gesamte Breite der Dachkonstruktion einnehmen, damit die Triebstockräder möglichst nahe an der Wand der Lagerbox und damit am Triebstock liegen. Der Platzbedarf dieser Methode ist ziemlich groß und das Hubsystem darf mit dem Fahrsystem nicht kollidieren.

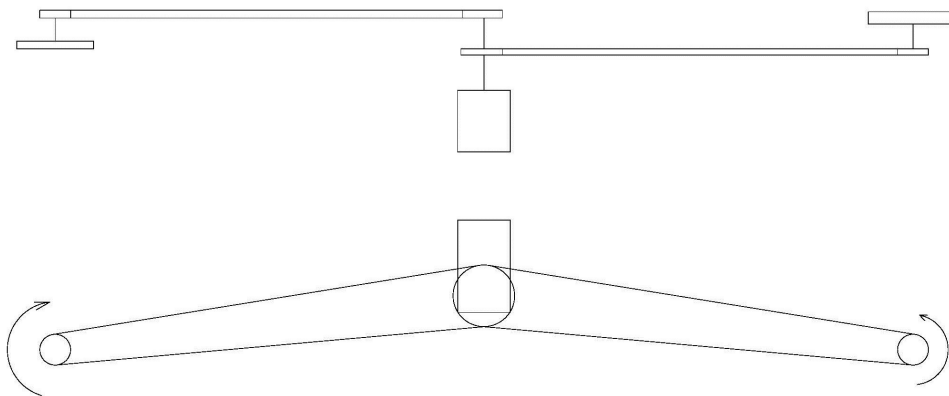


Abbildung 11: Triebstock mit Kettengetriebe

| Funktion             | 1.B                                            | Kosten | Funktion-<br>alität | Platzbedarf | Summe |
|----------------------|------------------------------------------------|--------|---------------------|-------------|-------|
| Fahrmech-<br>anismus | Triebstock                                     | 3      | 4                   | 3           | 25    |
| Kraftleitung         | Kettengetriebe, Kegelgetriebe und kurze Wellen | 1      | 1                   | 2           |       |
| Lagerung             | Kugellager                                     | 4      | 3                   | 4           |       |

Tabelle 6: Triebstock mit Kettengetriebe

### 1.C: Triebstock mit Kegelgetriebe

In der Abbildung 12 ist die schematische Darstellung der Variante zu sehen. Der Antrieb treibt eine Durchgangswelle an, die über Kegelgetriebe die Triebstockräder bewegen. Die Räder laufen im Triebstock, der sich an der Innenseite der Lagerbox befindet.

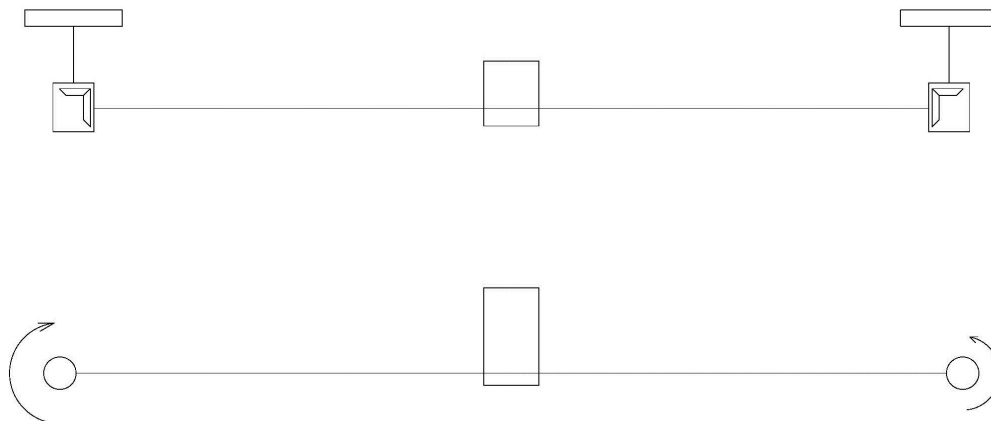


Abbildung 12: Triebstock mit Kegelgetriebe

| Funktion             | 1.C                                     | Kosten | Funktion-<br>alität | Platzbedarf | Summe |
|----------------------|-----------------------------------------|--------|---------------------|-------------|-------|
| Fahrmech-<br>anismus | Triebstock                              | 3      | 4                   | 3           | 30    |
| Kraftleitung         | Wellen, Rohrstücke und<br>Kegelgetriebe | 3      | 3                   | 3           |       |
| Lagerung             | Kugellager                              | 4      | 3                   | 4           |       |

Tabelle 7: Triebstock mit Kegelgetriebe

#### 1.D: angetriebene Räder

Bei der Recherche eines Antriebs ist mir aufgefallen, dass die Abmaße der angebotenen Getriebemotoren ziemlich groß sind. Der kleinste Getriebemotor von Getriebebau Nord besitzt eine Breite von 116 mm, was für den in der Abbildung 9 auf Seite 28 gezeigten Freiraum einfach zu groß ist. Man würde einen kleineren Antrieb benötigen, der im Rad integriert ist, jedoch habe ich bei meinen Recherchen keinen solchen Antrieb gefunden.

| Funktion             | 1.D                | Kosten | Funktion-<br>alität | Platzbedarf | Summe |
|----------------------|--------------------|--------|---------------------|-------------|-------|
| Fahrmech-<br>anismus | Angetriebene Räder | 2      | 1                   | 0           | 26    |
| Kraftleitung         | Kurze Wellen       | 4      | 4                   | 4           |       |
| Lagerung             | Kugellager         | 4      | 3                   | 4           |       |

Tabelle 8: angetriebene Räder

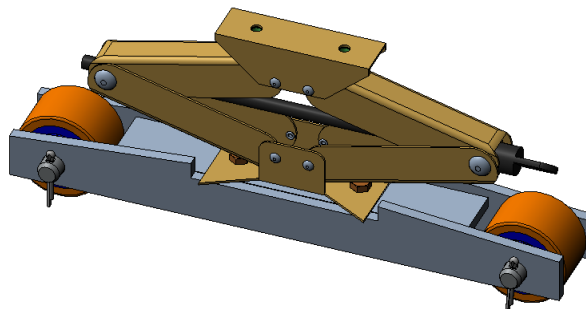
### Resultat:

Die Variante 1.C: Triebstock mit Kettengetriebe ist nach Punkten die beste Variante und solange das später ausgewählte Hubsystem mit diesem Fahrsystem kompatibel ist, gibt es keine Konflikte mit der Anforderungsliste.

## **Hubsystem**

### 2.A: Hebelarm mit Gewindestange

Diese Variante wurde auch in der Vorlage mit dem in Abbildung 13 gezeigten Hebemechanismus umgesetzt. Das Problem mit der Höhenverstellung während des Hubs konnte diese Variante nicht lösen, da sich die Gewindestange etwa mit einem Verhältnis von 1 zu 2 zur Dachkonstruktion hebt.



*Abbildung 13: Hebelarm aus der Vorlage*

| Funktion       | 2.A                                                 | Kosten | Funktionalität | Platzbedarf | Summe |
|----------------|-----------------------------------------------------|--------|----------------|-------------|-------|
| Hubmechanismus | Hebelarm                                            | 3      | 3              | 3           | 24    |
| Kraftleitung   | Gewindestange, Wellen, Rohrstücke und Kegelgetriebe | 2      | 1              | 3           |       |
| Lagerung       | Pendelrollenlager                                   | 2      | 3              | 4           |       |

*Tabelle 9: Hebelarm mit Gewindestange*

### 2.B: Hebelarm mit Kettenrad

In der Abbildung 14 ist das Hubsystem schematisch dargestellt. Dabei ist der Zugstrang an dem unteren Gelenk des Hebels angebracht um keine weitere Halterung zu benötigen und für den Hub die volle Länge des Hebels zu benutzen.

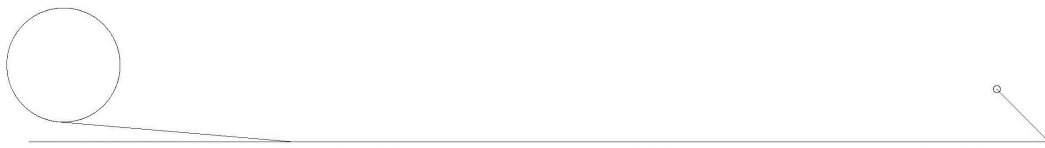


Abbildung 14: Hebelarm mit Kettenrad

| Funktion            | 2.B                                        | Kosten | Funktion-<br>alität | Platzbedarf | Summe |
|---------------------|--------------------------------------------|--------|---------------------|-------------|-------|
| Hubmech-<br>anismus | Hebelarm                                   | 3      | 3                   | 3           | 27    |
| Kraftleitung        | Wellen, Rohrstücke, Kette und<br>Zugstange | 2      | 3                   | 3           |       |
| Lagerung            | Pendelrollenlager, Kugellager              | 3      | 3                   | 4           |       |

Tabelle 10: Hebelarm mit Kettenrad

### 2.C: Gewindehubgetriebe

Bei einer Recherche mehrerer Getriebehersteller ergab sich:

Aus den Katalog der Firma Grob war das kleinste Getriebe, das die Last tragen konnte das MJ2 Getriebe. Dieses ist jedoch zu groß.

Breite= 100mm; verfügbar = 120mm

Höhe = 150mm; verfügbar = 154mm

Der Abstand von 4mm, der in der Höhe noch vorhanden ist, ist zu gering.

Die Firma Lock stellt von der Leistung passende Getriebe her, jedoch waren die Abmessungen von dem Katalog nicht gut zu entnehmen. Daher stellte ich eine Anfrage der Daten über die Kontakt-E-Mail des Unternehmens. Daraus erhielt ich die Information, dass Hubgetriebe von Lock nicht radial belastet werden dürfen.

Schließlich recherchierte ich in den Katalogen der Atlanta GmbH, doch deren Gewindehubgetriebe sind alle zu groß, oder besitzen zu wenig Leistung.

| Funktion            | 2.C                 | Kosten | Funktion-<br>alität | Platzbedarf | Summe |
|---------------------|---------------------|--------|---------------------|-------------|-------|
| Hubmech-<br>anismus | Gewindehubgetriebe  | 2      | 3                   | 0           | 23    |
| Kraftleitung        | Kurze Welle         | 4      | 4                   | 4           |       |
| Lagerung            | Führung für Gewinde | 2      | 2                   | 2           |       |

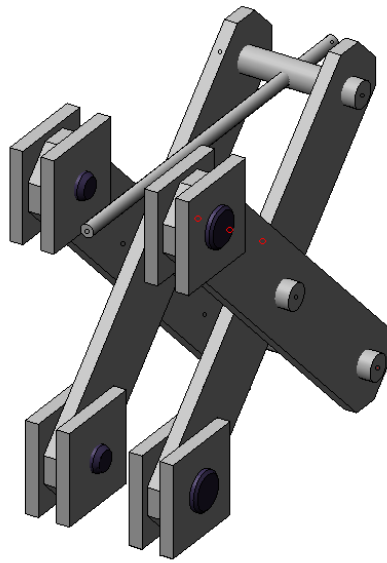
*Tabelle 11: Gewindehubgetriebe*

### Resultat:

Die Variante 2.B: Hebelarm mit Kettenrad ist nach Punkten die beste Variante. Außerdem kann die Antriebswellen von Hub- und Fahrsystem leicht aneinander vorbei geführt werden, weil die Platzierung von dem Triebstockrad des Fahrsystems und von dem Kettenrad des Hubsystems ziemlich frei entlang der Außenkante der Dachkonstruktion erfolgen kann.

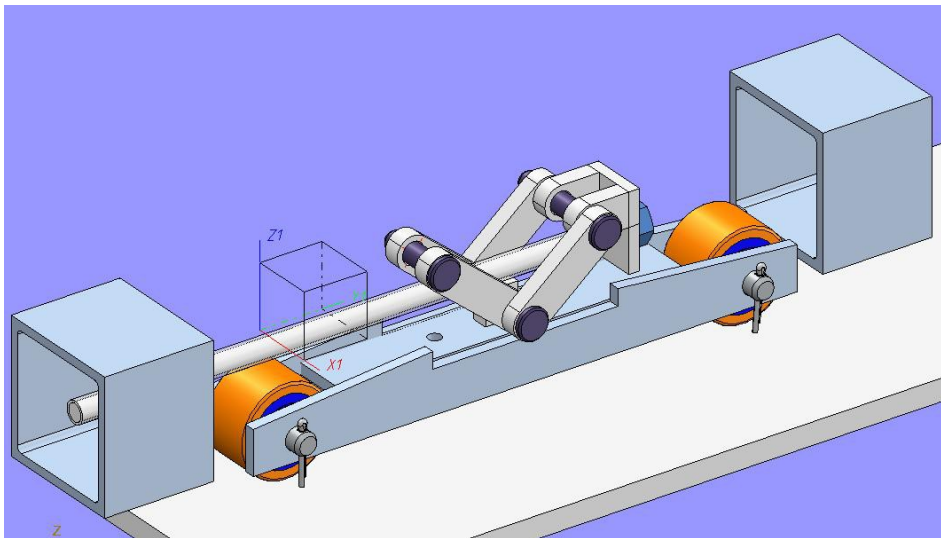
## **Ausarbeitung des Hebelarms**

Zur Erstellung des Hubsystems wird mit der Aufstellung verschiedener Varianten des Hebelarmes begonnen. Bei der Abbildung 15 und der Abbildung 16 werden Varianten des Hebelarms gezeigt, dabei wird die Position des Zugstrangs als Rundstahl dargestellt. Bei beiden Varianten befindet sich der Zugstrang am oberen Gelenkpunkt des Hebelarms, dadurch kann der Antrieb für den Zug, der sich mit der Dachkonstruktion hebt, an das vierte Segment angebracht werden.



*Abbildung 15: Hebel Variante 1*

Bei der Variante 1 führt der Hebelarm eine Scherenbewegung aus. Durch diese Bewegung drückt der Hebel, der unten mit den Rollen und oben mit dem Rahmen verbunden ist, die Dachkonstruktion nach oben.



*Abbildung 16: Hebel Variante 2*

Variante 2 arbeitet nach dem selben Prinzip wie Variante 1, dabei wurde die Durchbiegung verringert, indem man den Drehpunkt von der Mitte des Hebels auf deren Ende verlagert hat.



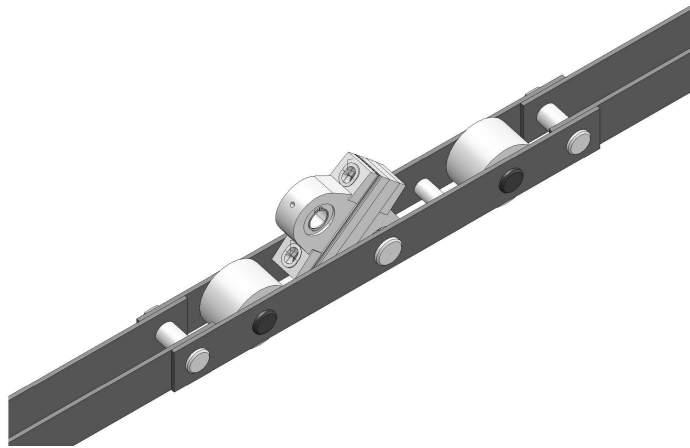


Abbildung 17: Hebel Variante 3

Nach weiteren Vereinfachungen wurde schließlich die in Abbildung 17 gezeigte Variante 3 erstellt. Der Hebel wird aus Blechen und Stehlagern zusammengeschaubt. Der Zugstrang befindet sich am unteren Gelenkpunkt und besteht aus zwei Flachstahl-Profile, die durch Hülsen auf Abstand gehalten werden. Diese einfache Variante wurde als Hebelarm für das Hubsystem verwendet, das es gut berechenbar und einfach zu montieren ist.

## Berechnung des Hubsystems

### Berechnung der Seilzugkraft

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| $F_G$    | ..Gewichtskraft                         |
| $m$      | ..Masse der Konstruktion                |
| $g$      | ..Ortsfaktor                            |
| $F_{Ax}$ | ..Axialkraft(Hebel)                     |
| $F_S$    | ..Seilkraft                             |
| $\alpha$ | ..Winkel zwischen Horizontale und Hebel |

$$F_G = m * g$$

$$F_G = 4000 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_G = 39240 \text{ N}$$

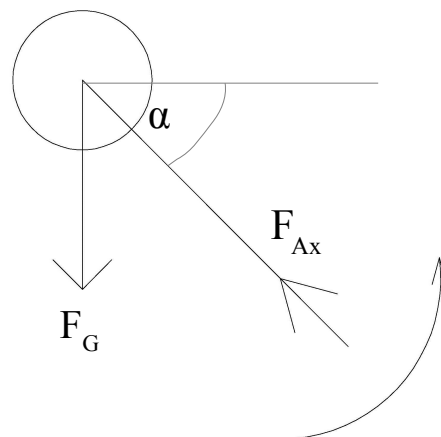


Abbildung 18: Teilsystem A

$$A: \sum F_Y = 0 = F_G - F_{Ax} \cdot \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$F_{Ax} = \frac{F_G}{\cos(90^\circ - \alpha)}$$

$$B: \sum F_X = 0 = F_{Ax} \cdot \cos(\alpha) - F_S$$

$$F_S = F_{Ax} \cdot \cos(\alpha)$$

$$A \rightarrow B: F_S = F_G \frac{\cos(\alpha)}{\cos(90^\circ - \alpha)}$$

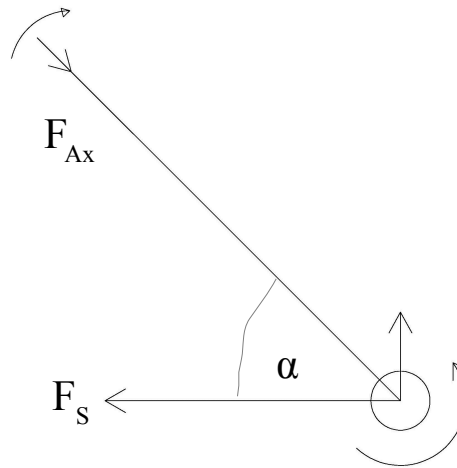


Abbildung 19: Teilsystem B

da  $\cos(\alpha)$  und  $\frac{1}{\cos(90^\circ - \alpha)}$  im Bereich  $\alpha = 0^\circ \dots 90^\circ$  mit steigenden  $\alpha$  kleiner wird, gilt:  
je kleiner  $\alpha$  ist, desto größer ist die Seilzugkraft  $F_S$

Daraus folgt, dass die Berechnung für das kleinste  $\alpha$  durchgeführt werden muss.

Aus dem oben gewählten Bereich folgt:  
 $\alpha = 45^\circ$

$$F_{Ax} = \frac{F_G}{\cos(90^\circ - \alpha)}$$

$$F_{Ax} = 39240 \frac{N}{\cos(90^\circ - 45^\circ)}$$

$$F_{Ax} = 55494 \text{ N}$$

$$F_S = F_G \frac{\cos(45^\circ)}{\cos(45^\circ)}$$

$$F_S = F_G$$

$$F_S = 4000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_S = 39240 \text{ N}$$

### Berechnung der Motorleistung

|                         |                                                                             |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $P$                     | ..Motorleistung                                                             |
| $M$                     | ..Drehmoment                                                                |
| $\omega$                | ..Winkelgeschwindigkeit                                                     |
| $F_s = 39240 \text{ N}$ | ..Seilkraft                                                                 |
| $r_k = 70,5 \text{ mm}$ | ..Radius des Kettenrades entnommen aus dem Katalog der Ketten<br>Fuchs GmbH |
| $v$                     | ..Geschwindigkeit                                                           |
| $s = 30 \text{ mm}$     | ..zurückzulegender Weg                                                      |
| $t_s = 5 \text{ s}$     | ..Zeit, in der der Weg zurückgelegt werden muss                             |
| $n$                     | ..Drehzahl                                                                  |

$$P = M * \omega$$

$$M = F_s * r_k$$

$$\omega = \frac{v}{r_k}$$

$$v = \frac{s}{t_s}$$

$$v = \frac{30 \text{ mm}}{5 \text{ s}} = 6 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 6 * 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\omega = \frac{6 * 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{70,5 * 10^{-3} \text{ m}}$$
$$\omega = 8,51 * 10^{-2} \frac{1}{\text{s}}$$

$$P = M * \omega$$

$$P = F_s * r_k * \omega$$

$$P = 39240 \text{ N} * 70,5 * 10^{-3} \text{ m} * 8,51 * 10^{-2} \frac{1}{\text{s}}$$

$$P = 235,44 \text{ W}$$

*Auswahl des Motors nach Antriebsmoment und Drehzahl:*

$$M = F_s * r_k$$

$$M = 39240 \text{ N} * 70,5 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$M = 2767 \text{ Nm}$$

$$n = \frac{\omega}{2 * \pi}$$

$$n = \frac{8,51 * 10^{-2} \frac{1}{s} * 60 \frac{s}{min}}{2 * \pi} = 0,81 \frac{1}{min}$$

Nach dem Angebot von Getriebebau Nord gibt es keinen Getriebemotor, der die Drehzahl einhält und dieses Drehmoment aufbringen kann. Darum wird eine zusätzliche 1:2 Übersetzung in Form eines Kettenradgetriebes verwendet. Damit muss der Antrieb nicht mehr auf die Position des Kettenrades für den Zugstrang ausgerichtet werden und kann freier platziert werden.

$$M = 2767 \text{ Nm}$$

$$n = 0,81 \frac{1}{min}$$

Nun:

$$M_1 = \frac{M}{2}$$

$$M_1 = \frac{2767 \text{ Nm}}{2}$$

$$M_1 = 1384 \text{ Nm}$$

$$n_1 = n * 2$$

$$n_1 = 0,81 \frac{1}{min} * 2$$

$$n_1 = 1,62 \frac{1}{min}$$

Aus dem Katalog von Getriebebau Nord ist der Getriebemotor SK9032.1-80L/4 den benötigten Werten am nächsten mit:

$$P = 750 \text{ W}$$

$$M = 1557 \text{ Nm}$$

$$n = 4,6 \frac{1}{min}$$

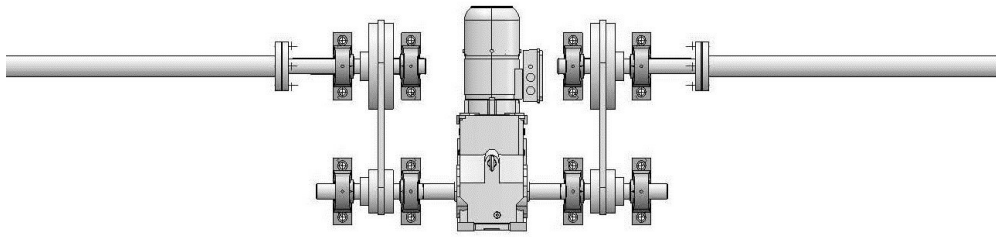


Abbildung 20: Hubantrieb mit Übersetzung

In der Abbildung 20 ist der Hubantrieb mit der Übersetzung per Kettengetriebe zu sehen. Der Antrieb wird hierbei mittig am Segment 4 platziert. Die Kettenräder und Wellen werden durch Stehlager gehalten.

### Berechnung der Flachstahl-Profile nach Zugkraft

Annahme: Zugkraft=Seilkraft

$$\sigma_{z\,zul} = 235 \frac{N}{mm^2} \quad \text{..zulässige Zugspannung}$$

$$\sigma_z \quad \text{..Zugspannung}$$

$$F \quad \text{..Zugkraft}$$

$$F_S = 39240 \, N \quad \text{..Radialkraft}$$

$$A \quad \text{..Fläche}$$

$$b \quad \text{..Breite des Flachstahls}$$

$$t \quad \text{..Dicke des Flachstahls}$$

$$\sigma_z = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{F_S}{4}$$

$$A = b * t$$

$$\sigma_{z\,zul} \geq \sigma_z$$

$$\sigma_{z\,zul} \geq \frac{F_S}{4 * b * t}$$

Wahl:  $b = 60 \text{ mm}$

$t$  berechnen

$$t \geq \frac{F_s}{4 * b * \sigma_{zul}}$$
$$t \geq \frac{39240 \text{ N}}{4 * 60 \text{ mm} * 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$
$$t \geq 0,7 \text{ mm}$$

Lochleibung

$$p_{zul} = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{..zulässige Flächenpressung}$$
$$p \quad \text{..Flächenpressung}$$
$$F_s = 39240 \text{ N} \quad \text{..Gewichtskraft}$$
$$A_{proj} \quad \text{..projizierte Fläche}$$
$$t \quad \text{..Dicke der Flansche}$$

Annahme:

$$d = 15 \text{ mm} \quad \text{..Durchmesser des Bolzens}$$

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$
$$F = \frac{F_s}{4}$$

Der Faktor 4 kommt zu Stande, da sich die gesamte Seilkraft auf 2 Seiten mit je 2 Flachstahl-Profile, die den Zugstrang bilden, aufteilt.

$$A_{proj} = d * t$$
$$p = \frac{F_s}{4 * d * t}$$

$$p_{zul} \geq p$$
$$p_{zul} \geq \frac{F_s}{4 * d * t}$$

$$t \geq \frac{F_G}{4 * d * p_{zul}}$$

$$t \geq \frac{39240 \text{ N}}{4 * 15 \text{ mm} * 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$t \geq 4,68 \text{ mm}$$

gewählt:  $t = 5 \text{ mm}$

### Berechnung Zapfen und Bolzen

Für die Befestigung des Hebelarmes an den Rahmen und an die Flachstahl-Profile des Zugstrangs werden Wellenstücke verwendet. Dabei wird im folgenden das Wellenstück zwischen den Flachstahl-Profilen als Bolzen und das Stück am Rahmen als Zapfen benannt.

#### *Bolzen*

##### Lochleibung

$$p_{zul} = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{..zulässige Flächenpressung}$$

$$p \quad \text{..Flächenpressung}$$

$$F_S = 39240 \text{ N} \quad \text{..Seilkraft}$$

$$A_{proj} \quad \text{..projizierte Fläche}$$

$$d \quad \text{..Durchmesser des Bolzens}$$

$$t = 5 \text{ mm} \quad \text{..Dicke der Flansche}$$

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$

$$F = \frac{F_S}{6}$$

Die Dachkonstruktion soll auf 2 Hebelarmen je Segment gestützt werden. Dabei wird ein Faktor für die ungleichmäßige Verteilung von 0,75 berücksichtigt.

$$A_{proj} = d * t$$

$$p = \frac{F_S}{6 * d * t}$$

$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_S}{6 * d * t}$$

$$d \geq \frac{F_G}{6 * t * p_{zul}}$$

$$d \geq \frac{39240 \text{ N}}{6 * 5 \text{ mm} * 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$d \geq 9,4 \text{ mm}$$

## Biegung

$$\sigma_{b \text{ zul}} = 290 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{..zulässige Biegespannung}$$

$$\sigma_b \quad \text{..Biegespannung}$$

$$M \quad \text{..Moment}$$

$$W \quad \text{..Widerstandsmoment}$$

$$F_s \quad \text{..Seilkraft}$$

$$s = 32 \text{ mm} \quad \text{..Halber Abstand der Flachstahl-Profile}$$

$$d \quad \text{..Durchmesser des Bolzens}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W}$$

$$M = \frac{F_s}{6} * s$$

$$W = \frac{\pi}{32} * d^3$$

$$\sigma_{b \text{ zul}} \geq \sigma_b$$

$$\sigma_{b \text{ zul}} \geq \frac{32 * F_s * s}{6 * \pi * d^3}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * F_s * s}{6 * \pi * \sigma_{b \text{ zul}}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * 39240 \text{ N} * 32 \text{ mm}}{6 * \pi * 290 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$d \geq 19,5 \text{ mm}$$



## Zapfen

### Lochleibung

$$p_{zul} = 140 \frac{N}{mm^2}$$

|                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| $p$                | ..Flächenpressung            |
| $F_G$              | ..Gewichtskraft              |
| $A_{proj}$         | ..projizierte Fläche         |
| $d$                | ..Durchmesser des Zapfens    |
| $t = 4 \text{ mm}$ | ..Wandstärke des Hohlprofils |

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$

$$F = \frac{F_G}{6}$$

$$\rightarrow p = \frac{F_G}{6 * A_{proj}}$$

$$A_{proj} = d * t$$

$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_G}{6 * d * t}$$

$$d \geq \frac{F_G}{6 * t * p_{zul}}$$

$$d \geq \frac{39240 \text{ N}}{6 * 4 \text{ mm} * 140 \frac{N}{mm^2}}$$

$$d \geq 11,7 \text{ mm}$$

### Biegung

$$\sigma_{b\text{ zul}} = 290 \frac{N}{mm^2}$$

|                     |                                     |
|---------------------|-------------------------------------|
| $\sigma_b$          | ..zulässige Biegespannung           |
| $M$                 | ..Biegespannung                     |
| $W$                 | ..Moment                            |
| $F_G$               | ..Widerstandsmoment                 |
| $s = 51 \text{ mm}$ | ..Gewichtskraft                     |
| $d$                 | ..Hebelarm von Hohlprofil zum Hebel |
|                     | ..Durchmesser des Zapfens           |

$$\sigma_b = \frac{M}{W}$$

$$M = \frac{F_G}{6} * s$$

$$W = \frac{\pi}{32} * d^3$$

$$\sigma_b = \frac{32 * F_G * s}{6 * \pi * d^3}$$

$$\sigma_{b\ zul} \geq \sigma_b$$

$$\sigma_{b\ zul} \geq \frac{32 * F_G * s}{6 * \pi * d^3}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * F_G * s}{6 * \pi * \sigma_{b\ zul}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * 39240\ N * 51\ mm}{6 * \pi * 290\ \frac{N}{mm^2}}}$$

$$d \geq 22,8\ mm$$

Die Stehlager werden von der Mädler GmbH geliefert. Diese sind in verschiedenen Größen erhältlich, die für unterschiedliche Wellendurchmesser ausgelegt sind. Ab einem Wellendurchmesser von 20 mm ändert sich der Abstand der Bohrungen für die Verschraubung, daher müssen die Stehlager, die den Hebel bilden, die gleiche Größe besitzen. Daher wird einfach für den Zapfen ein höherwertiges Material verwendet um den gleichen Durchmesser wie beim Bolzen zu bekommen.

$$d = 20\ mm$$

$$\sigma_{b\ zul} \geq 32 * 39240\ N * 51\ \frac{mm}{6 * \pi * (20\ mm)^3}$$

$$\sigma_{b\ zul} \geq 425\ \frac{N}{mm^2}$$

Das Material S355J2G3 besitzt:

$$\sigma_{b\ zul} = 430\ \frac{N}{mm^2}$$

## Berechnung Abtriebswelle

### Torsion

$$\tau_{t\,zul} = 140 \frac{N}{mm^2} \quad \text{..zulässige Torsionsspannung}$$
$$\tau_t \quad \text{..Torsionsspannung}$$
$$M \quad \text{..Torsionsmoment}$$
$$W_{pol} \quad \text{..polares Widerstandsmoment}$$
$$F_s \quad \text{..Seilkraft}$$
$$r_k = 70,5 \, mm \quad \text{..Radius des Kettenrades}$$
$$d \quad \text{..Durchmesser der Welle}$$

$$\tau_t = \frac{M}{W_{pol}}$$
$$M = \frac{F_s}{2} * r$$

Der Faktor 2 entsteht durch die Aufteilung der Seilkraft auf die beiden Seiten der Dachkonstruktion.

$$W_{pol} = \frac{\pi}{16} d^3$$
$$\tau = \frac{F_s * r_k * 16}{2 * \pi * d^3}$$
$$\tau_{t\,zul} \geq \tau_t$$
$$\tau_{t\,zul} \geq \frac{F_s * r_k * 16}{2 * \pi * d^3}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{39240 \, N * 70,5 \, mm * 16}{2 * \pi * 140 \frac{N}{mm^2}}}$$
$$d \geq 37,0 \, mm$$
$$d = 40 \, mm$$

Für die Lagerung der Welle am Rahmen wird ein Flanschlager verwendet, dass nicht weit über den Rand des HR140 stehen soll, darum wird eine kleinere Welle  $d = 35 \, mm$  verwendet. Die Position des Flanschlagers für eine Welle mit einem Durchmesser von 35 mm ist in der Abbildung 21 gezeigt.

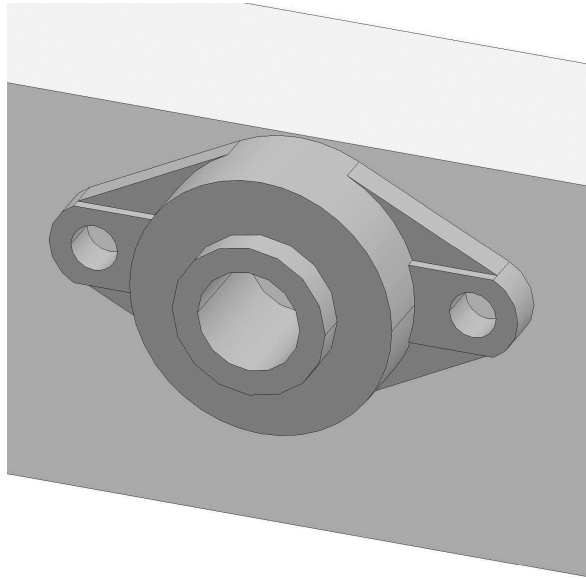


Abbildung 21: Flanschlager

Wegen der Wellennut für Sicherungsringe reduziert sich der Durchmesser auf:  
 $d = 33 \text{ mm}$

$$\tau_{tzul} \geq \frac{F_s * r_k * 16}{2 * \pi * d^3}$$

$$\tau_{tzul} \geq \frac{39240 \text{ N} * 70,5 \text{ mm} * 16}{2 * \pi * (33 \text{ mm})^3}$$

$$\tau_{tzul} \geq 196,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Aus der zulässigen Torsionsspannung ergibt sich das Material E360.

$$\tau_{tzul} = 220 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## Berechnung Ersatzrohr

### Torsion

$$\tau_{t\,zul} = 140 \frac{N}{mm^2} \quad \text{.. zulässige Torsionsspannung}$$

$$\tau_t \quad \text{.. Torsionsspannung}$$

$$M \quad \text{.. Torsionsmoment}$$

$$W_{pol} \quad \text{.. polares Widerstandsmoment}$$

$$F_S = 39240 \, N \quad \text{.. Seilkraft}$$

$$r_k = 70,5 \, mm \quad \text{.. Radius des Kettenrades}$$

$$t = 5 \, mm \quad \text{.. gewählte Dicke des Rohrs}$$

$$D = 2 * t + d \quad \text{.. Außendurchmesser}$$

$$d \quad \text{.. Innendurchmesser}$$

$$\tau_t = \frac{M}{W_{pol}}$$

$$M = \frac{F_S * r}{2}$$

$$W_{pol} = \frac{\pi * (D^4 - d^4)}{16 * D}$$

$$\tau_t = \frac{F_S * r_k * 16 * D}{2 * \pi * (D^4 - d^4)}$$

$$\tau_t = \frac{F_S * r_k * 16 * (2 * t + d)}{2 * \pi * [(2 * t + d)^4 - d^4]}$$

$$\tau_{t\,zul} \geq \tau_t$$

$$\tau_{t\,zul} \geq \frac{F_S * r_k * 16 * (2 * t + d)}{2 * \pi * [(2 * t + d)^4 - d^4]}$$

$$\frac{(2 * t + d)^4 - d^4}{2 * t + d} \geq \frac{F_S * r_k * 16}{2 * \pi * \tau_{t\,zul}}$$

$$\frac{(2 * 5 \, mm + d)^4 - d^4}{2 * 5 \, mm + d} \geq \frac{39240 \, N * 70,5 \, mm * 16}{2 * \pi * 140 \frac{N}{mm^2}}$$

$$\frac{(2 * 5 \, mm + d)^4 - d^4}{2 * 5 \, mm + d} - \frac{39240 \, N * 70,5 \, mm * 16}{2 * \pi * 140 \frac{N}{mm^2}} \geq 0$$

## Annäherung durch Intervallhalbierung

$$d = 30..100\text{mm}$$

|                                         |                 |
|-----------------------------------------|-----------------|
| $d_a = 30\text{ mm}$                    | $-6569 \geq 0$  |
| $d_b = 100\text{ mm}$                   | $371590 \geq 0$ |
| Im Intervall befindet sich eine Lösung. |                 |

Tabelle 12: Intervall Ersatzrohr

| Durchmesser                                                        | Ergebnis | Neues Intervall |
|--------------------------------------------------------------------|----------|-----------------|
| $d_0 = \frac{(30\text{ mm} + 100\text{ mm})}{2} = 65\text{ mm}$    | 133548   | 30..65 mm       |
| $d_1 = \frac{(30\text{ mm} + 65\text{ mm})}{2} = 47,5\text{ mm}$   | 51257    | 30..47,5 mm     |
| $d_2 = \frac{(30\text{ mm} + 47,5\text{ mm})}{2} = 38,8\text{ mm}$ | 19454    | 30..38,8 mm     |
| $d_3 = \frac{(30\text{ mm} + 38,8\text{ mm})}{2} = 34,4\text{ mm}$ | 5670     | 30..34,4 mm     |

Tabelle 13: Durchmesserbestimmung

$$d = 34,4\text{ mm}$$

$$D = d + 2 * t$$

$$D = 34,4\text{ mm} + 10\text{ mm}$$

$$D = 44,4\text{ mm}$$

$$D = 48,3\text{ mm} \quad \text{nach verfügbaren Rohren laut DIN 2448}$$

Rohr 48,3\*5

## Berechnung Flansche

### Lochleibung

$$p_{zul} = 140 \frac{N}{mm^2}$$

..zulässige Flächenpressung

$p$

..Flächenpressung

$F$

..Kraft

$n_S$

..Anzahl der Schrauben

$A_{proj}$

..projizierte Fläche

$$d_S = 12 \text{ mm für } r_S = 45 \dots 65 \text{ mm}$$

..Durchmesser der Schrauben

$t$

..Dicke des Flansches

$M$

..Moment

$r_S$

..Radius des Lochkreises

$$F_S = 39240 \text{ N}$$

..Seilkraft

$$r = 70,5 \text{ mm}$$

..Radius des Kettenrades

$$D_R = 48,3 \text{ mm}$$

..Außendurchmesser des Anschlussrohrs

$$p = \frac{F}{n_S * A_{proj}}$$

$$F = \frac{M}{r_S}$$

$$M = F_S * r$$

$$F = \frac{F_S * r}{r_S}$$

$$A_{proj} = d_S * t$$

$$r_S = 1,5 * d_S + \frac{D_R}{2}$$

$$r_S = 1,5 * 12 \text{ mm} + \frac{48,3 \text{ mm}}{2}$$

$$r_S = 42,15 \text{ mm}$$

$$r_S = 45 \text{ mm}$$

Nach dem ausgewählten Flansch der Heco GmbH ist:

$$n_S = 4$$

$$t = 14 \text{ mm}$$

$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_S * r}{r_S * n_S * d_S * t}$$

$$140 \frac{N}{mm^2} \geq \frac{39240 \text{ N} * 70,5 \text{ mm}}{45 \text{ mm} * 4 * 12 \text{ mm} * 14 \text{ mm}}$$

$$140 \frac{N}{mm^2} \geq 91,5 \frac{N}{mm^2} \quad \text{w.A.}$$

### Berechnung Antriebswelle

Torsion

$$\tau_{t\,zul} = 140 \frac{N}{mm^2} \quad \text{..zulässige Torsionsspannung}$$

$$\tau_t \quad \text{..Torsionsspannung}$$

$$M \quad \text{..Moment}$$

$$W_{pol} \quad \text{..polares Flächenmoment}$$

$$F_S = 39240 \, N \quad \text{..Seilkraft}$$

$$i = \frac{1}{2} \quad \text{..Übersetzung}$$

$$r_k = 70,5 \, mm \quad \text{..Radius des Kettenrades}$$

$$d_0 = 45 \, mm \quad \text{..Wellendurchmesser}$$

von Nord vorgegeben

$$d = 42,5 \, mm \quad \text{wegen Wellennut}$$

$$\tau_t = \frac{M}{W_{pol}}$$

$$M = F_S * i * r_k$$

$$W_{pol} = \frac{\pi}{16} d^3$$

$$\tau_t = \frac{F_S * i * r_k * 16}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{t\,zul} \geq \tau_t$$

$$\tau_{t\,zul} \geq \frac{F_S * i * r_k * 16}{\pi * d^3}$$

$$140 \frac{N}{mm^2} \geq \frac{39240 \, N * \frac{1}{2} * 70,5 \, mm * 16}{\pi * (42,5 \, mm)^3}$$

$$140 \frac{N}{mm^2} \geq 91,8 \frac{N}{mm^2} \quad \text{w.A.}$$



## Berechnung Welle-Nabe-Verbindung

Passfeder Abtriebswelle

Flächenpressung

$$p_{zul} = 140 \frac{N}{mm^2} \quad \text{..zulässige Flächenpressung}$$

$$p \quad \text{..Flächenpressung}$$

$$F \quad \text{..Kraft}$$

$$A_{proj} \quad \text{..projizierte Fläche}$$

$$F_S = 39240 \text{ N} \quad \text{..Seilkraft}$$

$$r_k = 70,5 \text{ mm} \quad \text{..Radius des Kettenrades}$$

$$r_w = 20 \text{ mm} \quad \text{..Radius der Abtriebswelle}$$

$$h = 8 \text{ mm} \quad \text{..Höhe der Passfeder}$$

$$b = 10 \text{ mm} \quad \text{..Breite der Passfeder}$$

$$t_1 = 5 \text{ mm} \quad \text{..Wellennut}$$

$$t = h - t_1 = 3 \text{ mm} \quad \text{..Höhe der Passfeder in der Nabennut}$$

$$l \quad \text{..Länge der Passfeder}$$

$$b \quad \text{..Breite der Passfeder}$$

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$

$$F = \frac{F_S * r_k}{2 * r_w}$$

$$A_{proj} = t * (l - b)$$

$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_S * r_k}{2 * r_w * t * (l - b)}$$

$$l \geq \frac{F_S * r_k}{2 * r_w * t * p_{zul}} + b$$

$$l \geq \frac{39240 \text{ N} * 70,5 \text{ mm}}{2 * 20 \text{ mm} * 3 \text{ mm} * 140 \frac{N}{mm^2}} + 10 \text{ mm}$$

$$l \geq 174,7 \text{ mm}$$

$$l = 180 \text{ mm}$$

## Passfeder Antriebswelle

### Flächenpressung

$$p_{zul} = 140 \frac{N}{mm^2}$$

..zulässige Flächenpressung

$p$

..Flächenpressung

$F$

..Kraft

$A_{proj}$

..projizierte Fläche

$$F_S = 39240 \text{ N}$$

..Seilkraft

$$r_k = 70,5 \text{ mm}$$

..Radius des Kettenrades

$$r_w = 21,25 \text{ mm}$$

..Radius der Antriebswelle

$$h = 9 \text{ mm}$$

..Höhe der Passfeder

$$b = 14 \text{ mm}$$

..Breite der Passfeder

$$t_1 = 5,5 \text{ mm}$$

..Wellennut

$$t = h - t_1 = 3,5 \text{ mm}$$

..Höhe der Passfeder in der Nabennut

$l$

..Länge der Passfeder

$b$

..Breite der Passfeder

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$

$$F = \frac{F_S * r_k}{2 * r_w}$$

$$A_{proj} = t * (l - b)$$

$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_S * r_k}{2 * r_w * t * (l - b)}$$

$$l \geq \frac{F_S * r_k}{2 * r_w * t * p_{zul}} + b$$

$$l \geq \frac{39240 \text{ N} * 70,5 \text{ mm}}{2 * 21,25 \text{ mm} * 3,5 \text{ mm} * 140 \frac{N}{mm^2}} + 14 \text{ mm}$$

$$l \geq 146,9 \text{ mm}$$

$$l = 150 \text{ mm} \quad \text{gewählt}$$

### Nachrechnung Antriebswelle

#### Torsion

$$\tau_{t\,zul} = 140 \frac{N}{mm^2} \quad \text{..zulässige Torsionsspannung}$$

$$\tau_t \quad \text{..Torsionsspannung}$$

$$M \quad \text{..Moment}$$

$$W_{pol} \quad \text{..polares Flächenmoment}$$

$$F_S = 39240 \, N \quad \text{..Seilkraft}$$

$$i = \frac{1}{2} \quad \text{..Übersetzung}$$

$$r_k = 70,5 \, mm \quad \text{..Radius des Kettenrades}$$

$$d_0 = 45 \, mm \quad \text{..Wellendurchmesser}$$

von Nord vorgegeben

$$d = 34 \, mm \quad \text{wegen Passfeder}$$

$$\tau_t = \frac{M}{W_{pol}}$$

$$M = F_S * i * r_k$$

$$W_{pol} = \frac{\pi}{16} d^3$$

$$\tau_t = \frac{F_S * i * r_k * 16}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{t\,zul} \geq \tau_t$$

$$\tau_{t\,zul} \geq \frac{F_S * i * r_k * 16}{\pi * d^3}$$

$$140 \frac{N}{mm^2} \geq \frac{39240 \, N * \frac{1}{2} * 70,5 \, mm * 16}{\pi * (34 \, mm)^3}$$

$$140 \frac{N}{mm^2} \geq 179,3 \frac{N}{mm^2} \quad f.A.$$

Die Welle muss aus einem belastbareren Werkstoff gefertigt werden.  
Das Material E360 reicht aus.

$$\tau_{t\,zul} = 220 \frac{N}{mm^2}$$

### Nachrechnung Abtriebswelle

#### Torsion

$$\begin{aligned}\tau_{t\,zul} &= 220 \frac{N}{mm^2} && \text{..zulässige Torsionsspannung} \\ \tau_t &&& \text{..Torsionsspannung} \\ M &&& \text{..Moment} \\ W_{pol} &&& \text{..polares Flächenmoment} \\ F_S &= 39240 \, N && \text{..Seilkraft} \\ r_k &= 70,5 \, mm && \text{..Radius des Kettenrades} \\ d_0 &= 35 \, mm && \text{..Wellendurchmesser} \\ d &= 30 \, mm && \text{wegen Passfeder}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_t &= \frac{M}{W_{pol}} \\ M &= \frac{F_S}{2} * r\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{pol} &= \frac{\pi}{16} d^3 \\ \tau_t &= \frac{F_S * r_k * 16}{2 * \pi * d^3} \\ \tau_{t\,zul} &\geq \tau_t \\ \tau_{t\,zul} &\geq \frac{F_S * r_k * 16}{2 * \pi * d^3}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}220 \frac{N}{mm^2} &\geq \frac{39240 \, N * 70,5 \, mm * 16}{2 * \pi * (30 \, mm)^3} \\ 220 \frac{N}{mm^2} &\geq 261,0 \frac{N}{mm^2} \quad f.A.\end{aligned}$$

Die Welle muss aus einem belastbareren Werkstoff gefertigt werden.  
Das Material 20MnCr5 reicht dabei aus.

$$\begin{aligned}\tau_{t\,zul} &= 410 \frac{N}{mm^2} \\ 410 \frac{N}{mm^2} &\geq 261,0 \frac{N}{mm^2} \quad w.A.\end{aligned}$$

#### Fazit der Berechnung

Nach einer Besprechung mit meinem Kollegen stellt sich heraus, dass die Passfedern einfach zu lang sind. Man muss das zu übertragene Moment verringern, daher wird ein anderer Hersteller für die Kettenräder verwendet, der höherwertige Materialien nimmt und somit sich der Hebelarm verringert.

Außerdem wird die Lagerung für die Wellen geändert, sodass der Wellendurchmesser für Antriebs- und Abtriebswelle gleich  $d_w = 45 \text{ mm}$  ist.

Die Auswahl von Kettenrad und Kette erfolgt nach Absprache mit dem Hersteller.

Dabei gilt:  $d_k = 122,17 \text{ mm}$

## Iteration der Berechnung des Hubsystems

### Berechnung der Motorleistung

|                         |                                                 |
|-------------------------|-------------------------------------------------|
| $P$                     | ..Motorleistung                                 |
| $M$                     | ..Drehmoment                                    |
| $\omega$                | ..Winkelgeschwindigkeit                         |
| $F_s = 39240 \text{ N}$ | ..Seilkraft                                     |
| $r_k = 61,1 \text{ mm}$ | ..Radius des Kettenrades                        |
| $v$                     | ..Geschwindigkeit                               |
| $s = 30 \text{ mm}$     | ..zurückzulegender Weg                          |
| $t_s = 5 \text{ s}$     | ..Zeit, in der der Weg zurückgelegt werden muss |
| $n$                     | ..Drehzahl                                      |

$$P = M * \omega$$

$$M = F_s * r_k$$

$$\omega = \frac{v}{r_k}$$

$$v = \frac{s}{t_s}$$

$$v = \frac{30 \text{ mm}}{5 \text{ s}} = 6 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 6 * 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\omega = \frac{6 * 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{61,1 * 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\omega = 9,82 * 10^{-2} \frac{1}{\text{s}}$$

$$P = M * \omega$$

$$P = F_s * r_k * \omega$$

$$P = F_s * r_k * \frac{v}{r_k}$$

$$P = F_s * v$$

$$P = 39240 \text{ N} * 6 * 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 235,44 \text{ W}$$

### Auswahl des Motors nach Antriebsmoment und Drehzahl

$$M = F_s * r_k$$

$$M = 39240 \text{ N} * 61,1 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$M = 2398 \text{ Nm}$$

$$n = \frac{\omega}{2 * \pi}$$

$$n = \frac{9,82 * 10^{-2} \frac{1}{s} * 60 \frac{s}{min}}{2 * \pi} = 0,94 \frac{1}{min}$$

Nach dem Angebot gibt es kein Getriebemotor, der die Drehzahl einhält und das Drehmoment aufbringt. Darum wird wie bei der ersten Berechnung eine zusätzliche 1:2 Übersetzung in Form eines Kettenradgetriebes verwendet.

$$M = 2398 \text{ Nm}$$

$$n = 0,94 \frac{1}{min}$$

Nun:

$$M_1 = \frac{M}{2}$$

$$M_1 = \frac{2398 \text{ Nm}}{2}$$

$$M_1 = 1199 \text{ Nm}$$

$$n_1 = n * 2$$

$$n_1 = 0,94 \frac{1}{min} * 2$$

$$n_1 = 1,88 \frac{1}{min}$$

>SK9032.1 oder SK9033.1

sind die kleinsten Getriebe, die die Forderungen erfüllt.

$$P = 0,25 \text{ kW}$$

SK9033.1-71S/4

$$M = 1492 \text{ Nm}$$

$$n = 1,6 \frac{1}{min}$$

$$P = 0,37 \text{ kW}$$

SK9033.1-71L/4

$$M = 1413 \text{ Nm}$$

$$n = 2,5 \frac{1}{min}$$

$$t_s = \frac{2 \cdot s}{v}$$

$$v = \omega \cdot r_k$$

$$\omega = n \cdot 2 \cdot \pi$$

$$t_s = \frac{2 \cdot s}{\omega \cdot r_k}$$

$$t_s = \frac{2 \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot r_k}$$

|                | SK9033.1-71S/4 | SK9033.1-71L/4 |
|----------------|----------------|----------------|
| Leistung $P$   | 0,25 kW        | 0,37 kW        |
| Drehmoment $M$ | 1492 Nm        | 1413 Nm        |
| Drehzahl $n$   | 1,6 1 over min | 2,5 1 over min |
| Zeit $t_s$     | 5,86 s         | 3,75 s         |

SK9033.1-71L/4 wird genommen, um die Zeit für den Hebevorgang kurz zu halten. Der erhöhte Stromverbrauch ist durch die geringen Lastwechsel pro Jahr vernachlässigbar.

### Berechnung Ersatzrohr

#### Torsion

$$\tau_{t_{zul}} = 140 \frac{N}{mm^2} \quad \text{.. zulässige Torsionsspannung}$$

$$\tau_t \quad \text{.. Torsionsspannung}$$

$$M \quad \text{.. Torsionsmoment}$$

$$W_{pol} \quad \text{.. polares Widerstandsmoment}$$

$$F_s = 39240 \, N \quad \text{.. Seilkraft}$$

$$r_k = 61,1 \, mm \quad \text{.. Radius des Kettenrades}$$

$$t = 5 \, mm \quad \text{.. gewählte Dicke des Rohrs}$$

$$D = 2 \cdot t + d \quad \text{.. Außendurchmesser}$$

$$d \quad \text{.. Innendurchmesser}$$

$$\tau_t = \frac{M}{W_{pol}}$$

$$M = \frac{F_s \cdot r_k}{2}$$

$$W_{pol} = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D}$$

$$\tau_t = \frac{F_s \cdot r_k \cdot 16 \cdot D}{2 \cdot \pi \cdot (D^4 - d^4)}$$

$$\tau_t = \frac{F_s \cdot r_k \cdot 16 \cdot (2 \cdot t + d)}{2 \cdot \pi \cdot [(2 \cdot t + d)^4 - d^4]}$$

$$\tau_{tzul} \geq \tau_t$$

$$\tau_{tzul} \geq \frac{F_S * r_k * 16 * (2 * t + d)}{2 * \pi * [(2 * t + d)^4 - d^4]}$$

$$\frac{(2 * t + d)^4 - d^4}{2 * t + d} \geq \frac{F_S * r_k * 16}{2 * \pi * \tau_{tzul}}$$

$$\frac{(2 * 5 \text{ mm} + d)^4 - d^4}{2 * 5 \text{ mm} + d} \geq \frac{39240 \text{ N} * 61,1 \text{ mm} * 16}{2 * \pi * 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$\frac{(2 * 5 \text{ mm} + d)^4 - d^4}{2 * 5 \text{ mm} + d} - \frac{39240 \text{ N} * 61,1 \text{ mm} * 16}{2 * \pi * 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \geq 0$$

*Annäherung durch Intervallhalbierung*

$$d = 30..100 \text{ mm}$$

|                                          |                 |
|------------------------------------------|-----------------|
| $d_a = 30 \text{ mm}$                    | $140 \geq 0$    |
| $d_b = 100 \text{ mm}$                   | $378299 \geq 0$ |
| Im Intervall befindet sich keine Lösung. |                 |

*Tabelle 14: Intervall A*

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\frac{(2 * 3 \text{ mm} + d)^4 - d^4}{2 * 3 \text{ mm} + d} - \frac{39240 \text{ N} * 61,1 \text{ mm} * 16}{2 * \pi * 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \geq 0$$

|                                         |                 |
|-----------------------------------------|-----------------|
| $d_a = 30 \text{ mm}$                   | $-19454 \geq 0$ |
| $d_b = 100 \text{ mm}$                  | $204010 \geq 0$ |
| Im Intervall befindet sich eine Lösung. |                 |

*Tabelle 15: Intervall B*



| Durchmesser                                                          | Ergebnis | Neues Intervall |
|----------------------------------------------------------------------|----------|-----------------|
| $d_0 = \frac{(30\text{ mm} + 100\text{ mm})}{2} = 65\text{ mm}$      | 62884    | 30..65 mm       |
| $d_1 = \frac{(30\text{ mm} + 65\text{ mm})}{2} = 47,5\text{ mm}$     | 14368    | 30..47,5 mm     |
| $d_2 = \frac{(30\text{ mm} + 47,5\text{ mm})}{2} = 38,8\text{ mm}$   | -4282    | 38,8..47,5 mm   |
| $d_3 = \frac{(38,8\text{ mm} + 47,5\text{ mm})}{2} = 43,2\text{ mm}$ | 4696     | 38,8..43,2 mm   |

Tabelle 16: Durchmesserberechnung

$$d = 43,2\text{ mm}$$

$$D = d + 2 * t$$

$$D = 43,2\text{ mm} + 2 * 3\text{ mm}$$

$$D = 49,2\text{ mm}$$

$$D = 60,3\text{ mm} \quad \text{nach verfügbaren Rohren laut DIN 2448}$$

Nun wird geprüft, ob Material eingespart werden kann, indem man ein Rohr mit einem geringeren Gewicht je Meter nach der oben stehenden DIN verwendet.

Rohr 60,3x2,9

$$\tau_{t\text{zul}} \geq \frac{39240\text{ N} * 61,1\text{ mm} * 16 * 60,3\text{ mm}}{2 * \pi * [(60,3\text{ mm})^4 - (54,5\text{ mm})^4]}$$

$$140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \geq 83,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{w.A.}$$

Rohr 48,3x3,6

$$\tau_{t\text{zul}} \geq \frac{39240\text{ N} * 61,1\text{ mm} * 16 * 60,3\text{ mm}}{2 * \pi * [(48,3\text{ mm})^4 - (41,1\text{ mm})^4]}$$

$$140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \geq 142,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{f.A.}$$

Das Rohr 60,3x2,9 kann verwendet werden.

### Berechnung Flansche

Lochleibung

$$p_{\text{zul}} = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

..zulässige Flächenpressung

$p$

..Flächenpressung

$F$

..Kraft

$A_{\text{proj}}$

..projizierte Fläche

Für die Abmessung der Flansche wird wieder der Katalog der Heco GmbH verwendet.

|                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| $r_s = 55 \text{ mm}$   | ..Lochkreisradius                     |
| $t = 14 \text{ mm}$     | ..Dicke des Flansches                 |
| $d_s = 12 \text{ mm}$   | ..Schraubendurchmesser                |
| $n_s = 4$               | ..Anzahl der Schrauben                |
| $M$                     | ..Moment                              |
| $F_s = 39240 \text{ N}$ | ..Seilkraft                           |
| $r_k = 61,1 \text{ mm}$ | ..Radius des Kettenrades              |
| $D_R = 60,3 \text{ mm}$ | ..Außendurchmesser des Anschlussrohrs |

$$p = \frac{F}{n_s * A_{proj}}$$

$$F = \frac{M}{r_s}$$

$$M = \frac{F_s * r_k}{2}$$

$$F = \frac{F_s * r_k}{2 * r_s}$$

$$A_{proj} = d_s * t$$

$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_s * r_k}{2 * r_s * n_s * d_s * t}$$

$$140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \geq \frac{39240 \text{ N} * 61,1 \text{ mm}}{2 * 55 \text{ mm} * 4 * 12 \text{ mm} * 14 \text{ mm}}$$

$$140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \geq 32,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{w.A.}$$

### Berechnung Wellen

#### Torsion

$$\tau_{t,zul} = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{..zulässige Torsionsspannung}$$

$$\tau_t \quad \text{..Torsionsspannung}$$

$$M \quad \text{..Moment}$$

$$W_{pol} \quad \text{..polares Flächenmoment}$$

$$F_s = 39240 \text{ N} \quad \text{..Seilkraft}$$

$$i = \frac{1}{2} \quad \text{..Übersetzung}$$

$$r_k = 61,1 \text{ mm} \quad \text{..Radius des Kettenrades}$$

$$d_0 = 45 \text{ mm} \quad \text{..Wellendurchmesser von Nord vorgegeben}$$

$$d = 42,5 \text{ mm} \quad \text{wegen Wellennuten für Sicherungsringe}$$

$$\tau_t = \frac{M}{W_{pol}}$$

$$M = F_S * i * r_k$$

$$W_{pol} = \frac{\pi}{16} d^3$$

$$\tau_t = \frac{F_S * i * r_k * 16}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{tzul} \geq \tau_t$$

$$\tau_{tzul} \geq \frac{F_S * i * r_k * 16}{\pi * d^3}$$

$$140 \frac{N}{mm^2} \geq \frac{39240 N * \frac{1}{2} * 61,1 mm * 16}{\pi * (42,5 mm)^3}$$

$$140 \frac{N}{mm^2} \geq 79,6 \frac{N}{mm^2} \quad \text{w.A.}$$

### Berechnung Welle-Nabe-Verbindung

Passfeder Antriebswelle

Flächenpressung

$$p_{zul} = 140 \frac{N}{mm^2}$$

..zulässige Flächenpressung

$p$

..Flächenpressung

$F$

..Kraft

$A_{proj}$

..projizierte Fläche

$$F_S = 39240 N$$

..Seilkraft

$$r_k = 61,1 mm$$

..Radius des Kettenrades

$$r_w = 22,5 mm$$

..Radius der Abtriebswelle

$$h = 9 mm$$

..Höhe der Passfeder

$$b = 14 mm$$

..Breite der Passfeder

$$t_1 = 5,5 mm$$

..Wellennut

$$t = h - t_1 = 3,5 mm$$

..Höhe der Passfeder in der Nabennut

$l$

..Länge der Passfeder

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$

$$F = \frac{F_S * r_k}{2 * r_w}$$

$$A_{proj} = t * (l - b)$$

$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_S * r_k}{2 * r_w * t * (l - b)}$$

$$l \geq \frac{F_S * r_k}{2 * r_w * t * p_{zul}} + b$$

$$l \geq \frac{39240 \text{ N} * 61,1 \text{ mm}}{2 * 22,5 \text{ mm} * 3,5 \text{ mm} * 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} + 14 \text{ mm}$$

$$l \geq 122,8 \text{ mm}$$

$$l = 130 \text{ mm}$$

2 Passfedern

$\phi = 0,75$  ..Tragzahl

$n_f = 2$  ..Anzahl an Passfedern

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$

$$F = \frac{F_S * r_k}{2 * r_w}$$

$$A_{proj} = t * \phi * n_f * (l - b)$$

$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_S * r_k}{2 * r_w * t * \phi * n_f * (l - b)}$$

$$l \geq \frac{F_S * r_k}{2 * r_w * t * \phi * n_f * p_{zul}} + b$$

$$l \geq \frac{39240 \text{ N} * 61,1 \text{ mm}}{2 * 22,5 \text{ mm} * 3,5 \text{ mm} * 0,75 * 2 * 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} + 14 \text{ mm}$$

$$l \geq 86,5 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

### Nachrechnung Wellen

#### Torsion

$$\tau_{t\,zul} = 140 \frac{N}{mm^2} \quad \text{..zulässige Torsionsspannung}$$
$$\tau_t \quad \text{..Torsionsspannung}$$
$$M \quad \text{..Moment}$$
$$W_{pol} \quad \text{..polares Flächenmoment}$$
$$F_S = 39240 \, N \quad \text{..Seilkraft}$$
$$i = \frac{1}{2} \quad \text{..Übersetzung}$$
$$r_k = 61,1 \, mm \quad \text{..Radius des Kettenrades}$$
$$d_0 = 45 \, mm \quad \text{..Wellendurchmesser}$$
$$d = 34 \, mm \quad \text{wegen Passfedernuten}$$

$$\tau_t = \frac{M}{W_{pol}}$$
$$M = F_S * i * r_k$$
$$W_{pol} = \frac{\pi}{16} d^3$$
$$\tau_t = \frac{F_S * i * r_k * 16}{\pi * d^3}$$
$$\tau_{t\,zul} \geq \tau_t$$
$$\tau_{t\,zul} \geq \frac{F_S * i * r_k * 16}{\pi * d^3}$$

$$140 \frac{N}{mm^2} \geq \frac{39240 \, N * \frac{1}{2} * 61,1 \, mm * 16}{\pi * (34 \, mm)^3}$$
$$140 \frac{N}{mm^2} \geq 155,4 \frac{N}{mm^2} \quad f.A.$$

Die Welle muss aus einem belastbareren Werkstoff gefertigt werden.

Material: S275J2G3

$$\tau_{t\,zul} = 170 \frac{N}{mm^2}$$

# Berechnung Fahrsystem

## Motorauslegung

$$F_r \quad \text{..Reibungskraft}$$
$$\mu=0,02 \quad \text{..Reibungskoeffizient}$$

Nach der Vorlage sind die Räder aus Polyurethan und die Fahrbahn aus Stahl, jedoch gibt es dafür kein Reibungskoeffizient. Daher wird der Koeffizient an eine Rollreibung von einem Autoreifen auf Beton angelehnt.

$$F_G \quad \text{..Gewichtskraft}$$
$$g=9,81 \frac{m}{s^2} \quad \text{..Ortsfaktor}$$
$$m=4000kg \quad \text{..Masse}$$
$$r_t=110 mm \quad \text{..Radius des Triebstockrades}$$
$$v=3 \frac{m}{min} \quad \text{..Geschwindigkeit}$$

$$M=F_r * r_t$$
$$F_r=F_G * \mu$$
$$F_G=m * g$$
$$F_r=m * g * \mu$$
$$F_r=4000 kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,02$$
$$F_r=784,8 N$$

$$M=784,8 N * 110 mm$$
$$M=86,33 Nm$$

$$n=\frac{v}{2 * \pi * r_t}$$
$$n=\frac{3 \frac{m}{min}}{2 * \pi * 110 mm}$$
$$n=\frac{3 \frac{m}{min}}{2 * \pi * 0,11 m}$$
$$n=4,34 \frac{1}{min}$$

$$P=M * 2 * \pi * n$$
$$P=86,33 Nm * 2 * \pi * 4,34 \frac{1}{min} * \frac{1}{60} \frac{min}{s}$$
$$P=39,24 W$$

Der Motor SK 9012.1LX-63S4 mit den Werten:

$$M = 88 \text{ Nm}$$

$$n = 4,5 \frac{1}{\text{min}}$$

erfüllt vollständig die Anforderungen.

### Berechnung des Triebstocks

$$\sigma_{b \text{ zul}} = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{..zulässige Biegespannung}$$

$$\sigma_b \quad \text{..Biegespannung}$$

$$F_r = 784,8 \text{ N} \quad \text{..Reibungskraft}$$

$$d \quad \text{..Durchmesser der Bolzen}$$

$$l = 140 \text{ mm} \quad \text{..Abstand der Flachstahl-Profile}$$

$$M_b \quad \text{..Biegemoment}$$

$$W \quad \text{..Widerstandsmoment}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W}$$

$$M_b = \frac{F_r * l}{2}$$

$$W = \frac{\pi}{32} d^3$$

$$\sigma_b = \frac{32 * F_r * l}{2 * \pi * d^3}$$

$$\sigma_{b \text{ zul}} \geq \sigma_b$$

$$\sigma_{b \text{ zul}} \geq \frac{32 * F_r * l}{2 * \pi * d^3}$$

$$\sigma_{b \text{ zul}} \geq \frac{32 * F_r * l}{2 * \pi * d^3}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * F_r * l}{2 * \pi * \sigma_{b \text{ zul}}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * 784,8 \text{ N} * 140 \text{ mm}}{2 * \pi * 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$d \geq 14,6 \text{ mm}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

### Berechnung Welle als Hohlprofil

Bei der Berechnung der Motorleistung wurde ein Moment von 88 Nm bestimmt. Bei einem so niedrigen Moment nehme ich an, dass die Welle so klein gehalten werden kann, dass ein Stehlager nicht verwendet werden muss. Um Material zu sparen wird die Welle als Hohlprofil ausgeführt und als Verbindung zwischen dem Kegelgetriebe und der Welle wird ein Adapter nach der Abbildung Abbildung 22 verwendet. Der Adapter ist über eine Passfeder mit dem Kegelgetriebe verbunden und wird mittels Schrauben an der Welle befestigt.

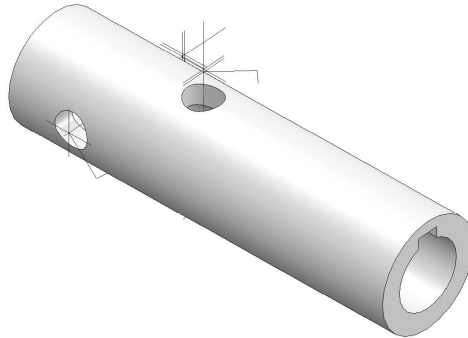


Abbildung 22: Adapter

### Torsion

$$\tau_{t\,zul} = 140 \frac{N}{mm^2} \quad \text{.. zulässige Torsionsspannung}$$

$$\tau_t \quad \text{.. Torsionsspannung}$$

$$M \quad \text{.. Torsionsmoment}$$

$$W_{pol} \quad \text{.. polares Widerstandsmoment}$$

$$F_r = 784,8 \, N \quad \text{.. Reibungskraft}$$

$$r_t = 110 \, mm \quad \text{.. Radius des Kettenrades}$$

$$t \quad \text{.. Dicke des Rohrs}$$

$$D = 21,3 \, mm \quad \text{.. gewählter Außendurchmesser}$$

$$d = D - 2 * t \quad \text{.. Innendurchmesser}$$

$$\tau_t = \frac{M}{W_{pol}}$$

$$M = F_r * r_t$$

$$W_{pol} = \frac{\pi * (D^4 - d^4)}{16 * D}$$

$$\tau_t = \frac{F_r * r_t * 16 * D}{\pi * (D^4 - d^4)}$$

$$\tau_t = \frac{F_r * r_t * 16 * D}{\pi * [D^4 - (D - 2 * t)^4]}$$



$$\tau_{tzul} \geq \tau_t$$

$$\tau_{tzul} \geq \frac{F_r * r_t * 16 * D}{\pi * [D^4 - (D - 2 * t)^4]}$$

$$D^4 - (D - 2 * t)^4 \geq \frac{F_r * r_t * 16 * D}{\pi * \tau_{tzul}}$$

$$(21,3 \text{ mm})^4 - (21,3 \text{ mm} - 2 * t)^4 \geq \frac{784,8 \text{ N} * 110 \text{ mm} * 16 * 21,3 \text{ mm}}{\pi * 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$(21,3 \text{ mm})^4 - (21,3 \text{ mm} - 2 * t)^4 - \frac{784,8 \text{ N} * 110 \text{ mm} * 16 * 21,3 \text{ mm}}{\pi * 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \geq 0$$

$$t_a = 0 \text{ mm}$$

$$t_b = 5 \text{ mm}$$

|                                         |                 |
|-----------------------------------------|-----------------|
| $t_a = 0 \text{ mm}$                    | $-66892 \geq 0$ |
| $t_b = 5 \text{ mm}$                    | $122638 \geq 0$ |
| Im Intervall befindet sich eine Lösung. |                 |

Tabelle 17: Intervall für Dicke

| Durchmesser                                                        | Ergebnis | Neues Intervall |
|--------------------------------------------------------------------|----------|-----------------|
| $t_0 = \frac{(0 \text{ mm} + 5 \text{ mm})}{2} = 2,5 \text{ mm}$   | 68352    | 0..2,5 mm       |
| $t_1 = \frac{(0 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm})}{2} = 1,3 \text{ mm}$ | 16660    | 0..1,3 mm       |

Tabelle 18: Berechnung der Dicke

Torsion spielt kaum Rolle für dieses Rohr.

## Lochleibung

$$p_{zul} = 140 \frac{N}{mm^2} \quad \text{..zulässige Flächenpressung}$$

$$p \quad \text{..Flächenpressung}$$

$$F_r = 784,8 N \quad \text{..Reibungskraft}$$

$$r_t = 110 mm \quad \text{..Radius des Triebrads}$$

$$r_R = 10,65 mm \quad \text{..Radius des Rohrs}$$

$$A_{proj} \quad \text{..projizierte Fläche}$$

$$t \quad \text{..Wanddicke}$$

$$d_{Sr} = 12 mm \quad \text{..Schraubendurchmesser}$$

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$

$$F = \frac{F_r * r_t}{r_R}$$

$$A_{proj} = 2 * d_{Sr} * t$$

Der Faktor 2 wird durch eine Durchgangsbohrung gewährt.

$$p = \frac{F_r * r_t}{2 * r_R * d_{Sr} * t}$$

$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_r * r_t}{2 * r_R * d_{Sr} * t}$$

$$t \geq \frac{F_r * r_t}{2 * d_{Sr} * r_R * p_{zul}}$$

$$t \geq \frac{784,8 N * 110 mm}{2 * 12 mm * 10,65 mm * 140 \frac{N}{mm^2}}$$

$$t \geq 2,41 mm$$

$$t = 2,9 mm$$

## Adapter

### Lochleibung

|                                   |                             |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| $p_{zul} = 140 \frac{N}{mm^2}$    | ..zulässige Flächenpressung |
| $p$                               | ..Flächenpressung           |
| $F$                               | ..Kraft                     |
| $F_r = 784,8 N$                   | ..Reibungskraft             |
| $r_t = 110 mm$                    | ..Radius des Triebrads      |
| $r_R = 10,65 mm$                  | ..Radius des Rohrs          |
| $A_{proj}$                        | ..projizierte Fläche        |
| $t$                               | ..Wanddicke des Adapters    |
| $d_{Sr} = 12 mm$                  | ..Schraubendurchmesser      |
| $\rho = 7800 \frac{kg}{m^3}$      | ..Dichte von Stahl          |
| $E = 2,1 * 10^{11} \frac{N}{m^2}$ | ..Elastizitätsmodul         |

$$p = \frac{F}{A_{proj}}$$
$$F = \frac{F_r * r_t}{r_R}$$
$$A_{proj} = 2 * d_{Sr} * t$$
$$p = \frac{F_r * r_t}{2 * r_R * d_{Sr} * t}$$
$$p_{zul} \geq p$$

$$p_{zul} \geq \frac{F_r * r_t}{2 * r_R * d_{Sr} * t}$$
$$t \geq \frac{F_r * r_t}{2 * r_R * d_{Sr} * p_{zul}}$$
$$t \geq \frac{784,8 N * 110 mm}{2 * 10,65 mm * 12 mm * 140 \frac{N}{mm^2}}$$
$$t \geq 2,41 mm$$
$$t = 3 mm$$

### Biegung des Rohrs

Nach der Berechnung von Antrieb, Welle und Adapter habe ich das Fahrsystem mit dem Hubsystem in das vierte Segment integriert. Dabei wurde der Antrieb für das Hubsystem mittig platziert und der Antrieb vom Fahrsystem wurde versetzt, damit keine diese beiden nicht kollidieren. Wegen der außer mittigen Lage des Antriebs des Fahrsystems ist eine Welle sehr lang geraten, daher werde ich diese auf Durchbiegung überprüfen.

$$l=3,4\text{ m} \quad \text{..Länge der Welle}$$

$$w'' = \frac{-F * x}{E * I}$$

$$F = m * g$$

$$m = \rho * V$$

$$V = \pi * (R^2 - r^2) * l$$

$$I = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4)$$

$$w'' = \frac{-\rho * g * \pi * (R^2 - r^2) * l * x}{E * \frac{\pi}{4} * (R^4 - r^4)}$$

$$w'' = \frac{-4 * \rho * g * (R^2 - r^2) * l * x}{E * (R^2 - r^2) * (R^2 + r^2)}$$

$$w'' = \frac{-4 * \rho * g * l * x}{E * (R^2 + r^2)}$$

$$w = \frac{-4 * \rho * g * l * x^3}{6 * E * (R^2 + r^2)}$$

$$x = \frac{l}{2} \quad \text{für maximale Durchbiegung}$$

$$w = \frac{-4 * \rho * g * l * l^3}{2^3 * 6 * E * (R^2 + r^2)}$$

$$w = \frac{-\rho * g * l^4}{12 * E * (R^2 + r^2)}$$

$$w = \frac{-7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (3,4 \text{ m})^4}{12 * 2,1 * 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * ((1,065 * 10^{-2} \text{ m})^2 + (7,75 * 10^{-3} \text{ m})^2)}$$

$$w = -0,023 \text{ m}$$

Durchbiegung soll  $|w| < 2 * 10^{-3} \text{ m}$ , daher muss entweder das Profil oder der Abstand der Lager geändert werden.

Ich habe mich hierbei entschieden ein Stehlager einzubringen. Dazu muss die Welle auf einen für die angebotenen Lager gerechten Durchmesser gebracht werden. Nun müsste ich die Welle als Rundstahl nochmals berechnen, aber um Zeit und Kosten zu sparen wurde die Welle einfach aus Rundstahl mit dem Durchmesser von 25 mm gefertigt. Im Lager der Firma liegt noch genug Rundstahl dieser Größe herum und wenn ein Rohr 21,3x2,9 die Belastung aushält, wird der Rundstahl auch halten.

## ***Zusammenfassung der Ergebnisse***

### *Hubsystem*

Als Antrieb wird der Getriebemotor SK9033.1-71L/4 von Nord genutzt. Die Wellen des Hubsystems bestehen aus S275J2G3 und haben einen Durchmesser von 45mm als Welle-Nabe-Verbindung werden 2 Passfedern der Länge 100mm verwendet. Für die weitere Übersetzung wird ein Kettengetriebe genutzt, dessen Ritzel 15 Zähne und ein mittleren Durchmesser von 122,17 mm besitzt. Das andere Kettenrad muss 30 Zähne haben, um das Übersetzungsverhältnis von 1 zu 2 zu gewährleisten.

### *Fahrssystem*

Der Antrieb des Fahrssystem wird der Getriebemotor SK 9012.1LX-63S4 von Nord. Als Welle wird ein Rundstahl mit einem Durchmesser von 25 mm verwendet. Über das Kegelgetriebe wird das Triebstockrad angetrieben.

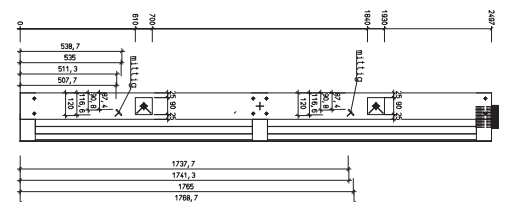
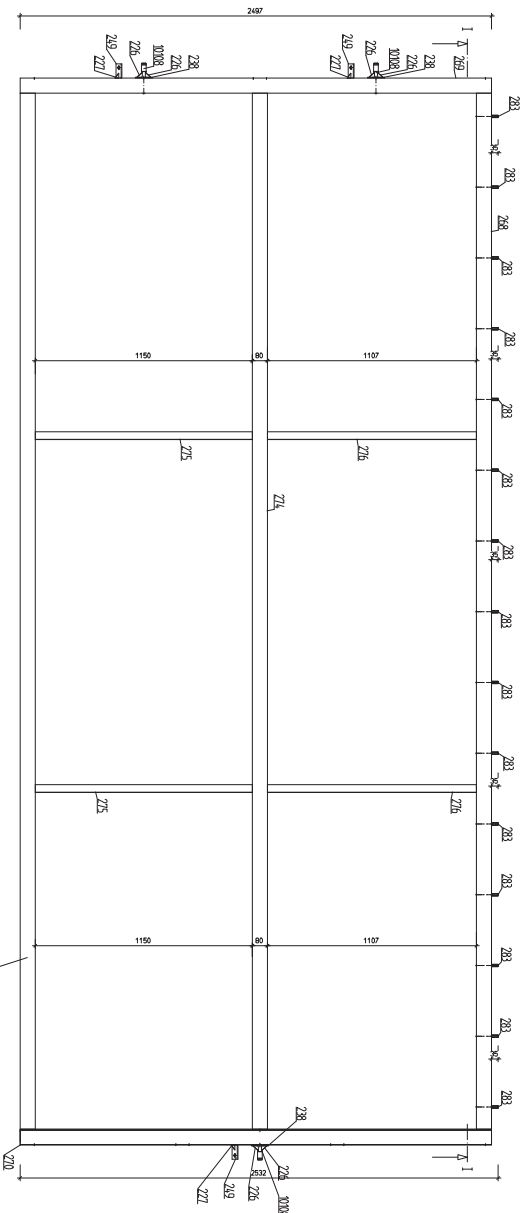
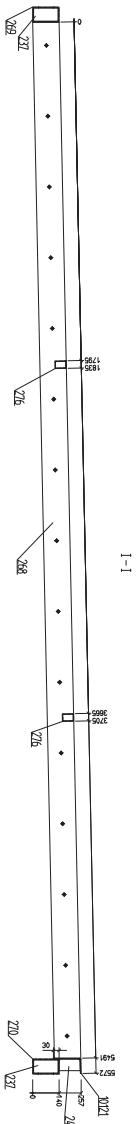
## **Planungsunterlagen**

Nun da das Hub- und Fahrssystem berechnet wurden, können meine Ausarbeitungen in die Dachkonstruktion einfließen und die Unterlagen können erstellt werden. Die erstellten Zeichnungen sind im Anhang zu finden.

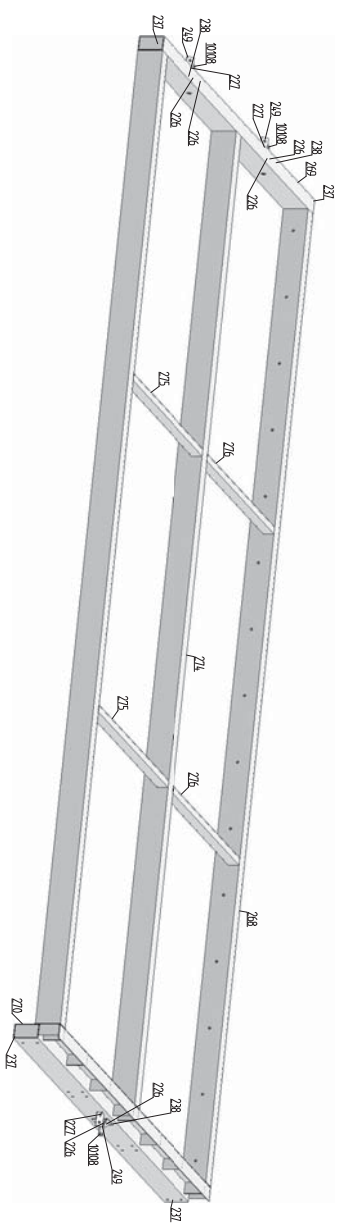
Die meisten Unterlagen wurden für Blätter der Größe A0 angefertigt und sind daher auf einem A4 Ausdruck nicht gut erkennbar, jedoch sollen Sie nur für diese Arbeit nur zur Verdeutlichung der gesamten Dachkonstruktion dienen.

# Quellen

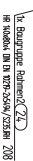
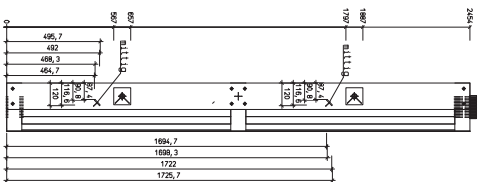
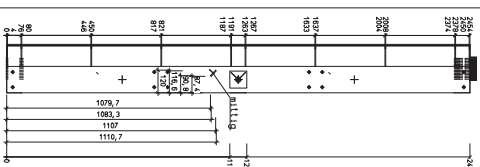
- Gosag
  - Katalog der von Getriebebau Nord
  - Katalog von Raico Glashaltesysteme
- DIN 6885 für Passfedern
  - <http://www.pub.zih.tu-dresden.de/~tschoen/konstr/chapter03/tables/din6885.pdf>
- Stehlager
  - <http://www.maedler.de/product/1643/1629/840/kugel-stehlager-ucp-grauguss>
- Kegelgetriebe
  - <http://www.maedler.de/product/1643/1331/1978/1337/1344/kegelradgetriebe-kui-bauart-k-11>
- Kettenrad
  - <http://www.ketten-fuchs.de/index.php/Kettenraeder/52/0/>
- Flansch
  - <http://www.heco.de/edelstahl/flansche/blindflansche/din-en/pn-6/technische-daten.html>
- Rollreibung
  - <http://de.wikipedia.org/wiki/Rollwiderstand>
- Format Bachelorarbeit
  - <http://www.studieren-im-netz.org/im-studium/studieren/bachelorarbeit>
- Bibliothek
  - Ehrlenspiel: Integrierte Produktentwicklung - Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion des Hanser Verlages
- Material-Daten
  - <http://www.maschinenbau-student.de/flachenpressung.php>
  - <http://www.dh2t.de/dh2t/werkstoff.php?ID=2881>
- Korrosionsschutz
  - [http://www.freilacke.de/fileadmin/doc/index/Fachbeitraege/Systemlacke/JOT1204\\_corrosion-protection\\_industrial-goods\\_DE.pdf](http://www.freilacke.de/fileadmin/doc/index/Fachbeitraege/Systemlacke/JOT1204_corrosion-protection_industrial-goods_DE.pdf)
- Normreihe der Rohre DIN 2448
  - <http://www.baunews.net/wp-content/uploads/2011/10/Stahlrohre.pdf>
- Duplex System
  - [http://www.feuerverzinken.com/fileadmin/Uploads\\_Glinde/Broschueren/Korrosionsschutz\\_durch\\_Duplex-Systeme.pdf](http://www.feuerverzinken.com/fileadmin/Uploads_Glinde/Broschueren/Korrosionsschutz_durch_Duplex-Systeme.pdf)  
die Seite 17 für Vorteile
- Daten von Profilen
  - [http://www.schneider-bautabellen.de/fileadmin/landingpages/schneider-bautabellen/pdf/Inhalte\\_fuer\\_Ingenieure/Korr\\_BTI\\_2012\\_08\\_159-170.PDF](http://www.schneider-bautabellen.de/fileadmin/landingpages/schneider-bautabellen/pdf/Inhalte_fuer_Ingenieure/Korr_BTI_2012_08_159-170.PDF)
  - Stahlbau-Profil 22.Auflage bearbeitet von Dipl.-Ing. Martha Schneider-Bürger Verlag: Stahleisen
- Bilder
  - [http://www.eurospapoolnews.com/nouveautes\\_piscines\\_spas-de/38575.htm](http://www.eurospapoolnews.com/nouveautes_piscines_spas-de/38575.htm)
  - <http://www.trendelkamp.com/verfahrbare-dachkonstruktionen.htm>
  - <http://www.hacker-ag.de/privatkunden/pooldecks.html>
  - [http://www.verzinkereien.info/sff/images/RTEmagicC\\_7763064c6e.jpg.jpg](http://www.verzinkereien.info/sff/images/RTEmagicC_7763064c6e.jpg.jpg)



16. Baugruppe Rahmen (23) 207  
im Anbau an die Baugruppe 207



| Pos.         | Bezeichnung    | Menge | Einheit | Material       | Preis          |
|--------------|----------------|-------|---------|----------------|----------------|
| 1. Baugruppe |                |       |         |                |                |
| 1            | 1. Baugruppe   | 1     | Stück   | 1. Baugruppe   | 1. Baugruppe   |
| 2            | 2. Baugruppe   | 1     | Stück   | 2. Baugruppe   | 2. Baugruppe   |
| 3            | 3. Baugruppe   | 1     | Stück   | 3. Baugruppe   | 3. Baugruppe   |
| 4            | 4. Baugruppe   | 1     | Stück   | 4. Baugruppe   | 4. Baugruppe   |
| 5            | 5. Baugruppe   | 1     | Stück   | 5. Baugruppe   | 5. Baugruppe   |
| 6            | 6. Baugruppe   | 1     | Stück   | 6. Baugruppe   | 6. Baugruppe   |
| 7            | 7. Baugruppe   | 1     | Stück   | 7. Baugruppe   | 7. Baugruppe   |
| 8            | 8. Baugruppe   | 1     | Stück   | 8. Baugruppe   | 8. Baugruppe   |
| 9            | 9. Baugruppe   | 1     | Stück   | 9. Baugruppe   | 9. Baugruppe   |
| 10           | 10. Baugruppe  | 1     | Stück   | 10. Baugruppe  | 10. Baugruppe  |
| 11           | 11. Baugruppe  | 1     | Stück   | 11. Baugruppe  | 11. Baugruppe  |
| 12           | 12. Baugruppe  | 1     | Stück   | 12. Baugruppe  | 12. Baugruppe  |
| 13           | 13. Baugruppe  | 1     | Stück   | 13. Baugruppe  | 13. Baugruppe  |
| 14           | 14. Baugruppe  | 1     | Stück   | 14. Baugruppe  | 14. Baugruppe  |
| 15           | 15. Baugruppe  | 1     | Stück   | 15. Baugruppe  | 15. Baugruppe  |
| 16           | 16. Baugruppe  | 1     | Stück   | 16. Baugruppe  | 16. Baugruppe  |
| 17           | 17. Baugruppe  | 1     | Stück   | 17. Baugruppe  | 17. Baugruppe  |
| 18           | 18. Baugruppe  | 1     | Stück   | 18. Baugruppe  | 18. Baugruppe  |
| 19           | 19. Baugruppe  | 1     | Stück   | 19. Baugruppe  | 19. Baugruppe  |
| 20           | 20. Baugruppe  | 1     | Stück   | 20. Baugruppe  | 20. Baugruppe  |
| 21           | 21. Baugruppe  | 1     | Stück   | 21. Baugruppe  | 21. Baugruppe  |
| 22           | 22. Baugruppe  | 1     | Stück   | 22. Baugruppe  | 22. Baugruppe  |
| 23           | 23. Baugruppe  | 1     | Stück   | 23. Baugruppe  | 23. Baugruppe  |
| 24           | 24. Baugruppe  | 1     | Stück   | 24. Baugruppe  | 24. Baugruppe  |
| 25           | 25. Baugruppe  | 1     | Stück   | 25. Baugruppe  | 25. Baugruppe  |
| 26           | 26. Baugruppe  | 1     | Stück   | 26. Baugruppe  | 26. Baugruppe  |
| 27           | 27. Baugruppe  | 1     | Stück   | 27. Baugruppe  | 27. Baugruppe  |
| 28           | 28. Baugruppe  | 1     | Stück   | 28. Baugruppe  | 28. Baugruppe  |
| 29           | 29. Baugruppe  | 1     | Stück   | 29. Baugruppe  | 29. Baugruppe  |
| 30           | 30. Baugruppe  | 1     | Stück   | 30. Baugruppe  | 30. Baugruppe  |
| 31           | 31. Baugruppe  | 1     | Stück   | 31. Baugruppe  | 31. Baugruppe  |
| 32           | 32. Baugruppe  | 1     | Stück   | 32. Baugruppe  | 32. Baugruppe  |
| 33           | 33. Baugruppe  | 1     | Stück   | 33. Baugruppe  | 33. Baugruppe  |
| 34           | 34. Baugruppe  | 1     | Stück   | 34. Baugruppe  | 34. Baugruppe  |
| 35           | 35. Baugruppe  | 1     | Stück   | 35. Baugruppe  | 35. Baugruppe  |
| 36           | 36. Baugruppe  | 1     | Stück   | 36. Baugruppe  | 36. Baugruppe  |
| 37           | 37. Baugruppe  | 1     | Stück   | 37. Baugruppe  | 37. Baugruppe  |
| 38           | 38. Baugruppe  | 1     | Stück   | 38. Baugruppe  | 38. Baugruppe  |
| 39           | 39. Baugruppe  | 1     | Stück   | 39. Baugruppe  | 39. Baugruppe  |
| 40           | 40. Baugruppe  | 1     | Stück   | 40. Baugruppe  | 40. Baugruppe  |
| 41           | 41. Baugruppe  | 1     | Stück   | 41. Baugruppe  | 41. Baugruppe  |
| 42           | 42. Baugruppe  | 1     | Stück   | 42. Baugruppe  | 42. Baugruppe  |
| 43           | 43. Baugruppe  | 1     | Stück   | 43. Baugruppe  | 43. Baugruppe  |
| 44           | 44. Baugruppe  | 1     | Stück   | 44. Baugruppe  | 44. Baugruppe  |
| 45           | 45. Baugruppe  | 1     | Stück   | 45. Baugruppe  | 45. Baugruppe  |
| 46           | 46. Baugruppe  | 1     | Stück   | 46. Baugruppe  | 46. Baugruppe  |
| 47           | 47. Baugruppe  | 1     | Stück   | 47. Baugruppe  | 47. Baugruppe  |
| 48           | 48. Baugruppe  | 1     | Stück   | 48. Baugruppe  | 48. Baugruppe  |
| 49           | 49. Baugruppe  | 1     | Stück   | 49. Baugruppe  | 49. Baugruppe  |
| 50           | 50. Baugruppe  | 1     | Stück   | 50. Baugruppe  | 50. Baugruppe  |
| 51           | 51. Baugruppe  | 1     | Stück   | 51. Baugruppe  | 51. Baugruppe  |
| 52           | 52. Baugruppe  | 1     | Stück   | 52. Baugruppe  | 52. Baugruppe  |
| 53           | 53. Baugruppe  | 1     | Stück   | 53. Baugruppe  | 53. Baugruppe  |
| 54           | 54. Baugruppe  | 1     | Stück   | 54. Baugruppe  | 54. Baugruppe  |
| 55           | 55. Baugruppe  | 1     | Stück   | 55. Baugruppe  | 55. Baugruppe  |
| 56           | 56. Baugruppe  | 1     | Stück   | 56. Baugruppe  | 56. Baugruppe  |
| 57           | 57. Baugruppe  | 1     | Stück   | 57. Baugruppe  | 57. Baugruppe  |
| 58           | 58. Baugruppe  | 1     | Stück   | 58. Baugruppe  | 58. Baugruppe  |
| 59           | 59. Baugruppe  | 1     | Stück   | 59. Baugruppe  | 59. Baugruppe  |
| 60           | 60. Baugruppe  | 1     | Stück   | 60. Baugruppe  | 60. Baugruppe  |
| 61           | 61. Baugruppe  | 1     | Stück   | 61. Baugruppe  | 61. Baugruppe  |
| 62           | 62. Baugruppe  | 1     | Stück   | 62. Baugruppe  | 62. Baugruppe  |
| 63           | 63. Baugruppe  | 1     | Stück   | 63. Baugruppe  | 63. Baugruppe  |
| 64           | 64. Baugruppe  | 1     | Stück   | 64. Baugruppe  | 64. Baugruppe  |
| 65           | 65. Baugruppe  | 1     | Stück   | 65. Baugruppe  | 65. Baugruppe  |
| 66           | 66. Baugruppe  | 1     | Stück   | 66. Baugruppe  | 66. Baugruppe  |
| 67           | 67. Baugruppe  | 1     | Stück   | 67. Baugruppe  | 67. Baugruppe  |
| 68           | 68. Baugruppe  | 1     | Stück   | 68. Baugruppe  | 68. Baugruppe  |
| 69           | 69. Baugruppe  | 1     | Stück   | 69. Baugruppe  | 69. Baugruppe  |
| 70           | 70. Baugruppe  | 1     | Stück   | 70. Baugruppe  | 70. Baugruppe  |
| 71           | 71. Baugruppe  | 1     | Stück   | 71. Baugruppe  | 71. Baugruppe  |
| 72           | 72. Baugruppe  | 1     | Stück   | 72. Baugruppe  | 72. Baugruppe  |
| 73           | 73. Baugruppe  | 1     | Stück   | 73. Baugruppe  | 73. Baugruppe  |
| 74           | 74. Baugruppe  | 1     | Stück   | 74. Baugruppe  | 74. Baugruppe  |
| 75           | 75. Baugruppe  | 1     | Stück   | 75. Baugruppe  | 75. Baugruppe  |
| 76           | 76. Baugruppe  | 1     | Stück   | 76. Baugruppe  | 76. Baugruppe  |
| 77           | 77. Baugruppe  | 1     | Stück   | 77. Baugruppe  | 77. Baugruppe  |
| 78           | 78. Baugruppe  | 1     | Stück   | 78. Baugruppe  | 78. Baugruppe  |
| 79           | 79. Baugruppe  | 1     | Stück   | 79. Baugruppe  | 79. Baugruppe  |
| 80           | 80. Baugruppe  | 1     | Stück   | 80. Baugruppe  | 80. Baugruppe  |
| 81           | 81. Baugruppe  | 1     | Stück   | 81. Baugruppe  | 81. Baugruppe  |
| 82           | 82. Baugruppe  | 1     | Stück   | 82. Baugruppe  | 82. Baugruppe  |
| 83           | 83. Baugruppe  | 1     | Stück   | 83. Baugruppe  | 83. Baugruppe  |
| 84           | 84. Baugruppe  | 1     | Stück   | 84. Baugruppe  | 84. Baugruppe  |
| 85           | 85. Baugruppe  | 1     | Stück   | 85. Baugruppe  | 85. Baugruppe  |
| 86           | 86. Baugruppe  | 1     | Stück   | 86. Baugruppe  | 86. Baugruppe  |
| 87           | 87. Baugruppe  | 1     | Stück   | 87. Baugruppe  | 87. Baugruppe  |
| 88           | 88. Baugruppe  | 1     | Stück   | 88. Baugruppe  | 88. Baugruppe  |
| 89           | 89. Baugruppe  | 1     | Stück   | 89. Baugruppe  | 89. Baugruppe  |
| 90           | 90. Baugruppe  | 1     | Stück   | 90. Baugruppe  | 90. Baugruppe  |
| 91           | 91. Baugruppe  | 1     | Stück   | 91. Baugruppe  | 91. Baugruppe  |
| 92           | 92. Baugruppe  | 1     | Stück   | 92. Baugruppe  | 92. Baugruppe  |
| 93           | 93. Baugruppe  | 1     | Stück   | 93. Baugruppe  | 93. Baugruppe  |
| 94           | 94. Baugruppe  | 1     | Stück   | 94. Baugruppe  | 94. Baugruppe  |
| 95           | 95. Baugruppe  | 1     | Stück   | 95. Baugruppe  | 95. Baugruppe  |
| 96           | 96. Baugruppe  | 1     | Stück   | 96. Baugruppe  | 96. Baugruppe  |
| 97           | 97. Baugruppe  | 1     | Stück   | 97. Baugruppe  | 97. Baugruppe  |
| 98           | 98. Baugruppe  | 1     | Stück   | 98. Baugruppe  | 98. Baugruppe  |
| 99           | 99. Baugruppe  | 1     | Stück   | 99. Baugruppe  | 99. Baugruppe  |
| 100          | 100. Baugruppe | 1     | Stück   | 100. Baugruppe | 100. Baugruppe |

[illegible]

**Bestandteile:**

| Pos. | Bezeichnung | Stückzahl | Einheit | Material |
|------|-------------|-----------|---------|----------|
| 1    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 2    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 3    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 4    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 5    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 6    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 7    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 8    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 9    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 10   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 11   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 12   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 13   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 14   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 15   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 16   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 17   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 18   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 19   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 20   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 21   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 22   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 23   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 24   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 25   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 26   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 27   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 28   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 29   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 30   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 31   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 32   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 33   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 34   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 35   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 36   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 37   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 38   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 39   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 40   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 41   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 42   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 43   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 44   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 45   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 46   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 47   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 48   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 49   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 50   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 51   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 52   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 53   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 54   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 55   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 56   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 57   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 58   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 59   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 60   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 61   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 62   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 63   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 64   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 65   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 66   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 67   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 68   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 69   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 70   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 71   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 72   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 73   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 74   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 75   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 76   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 77   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 78   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 79   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 80   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 81   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 82   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 83   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 84   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 85   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 86   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 87   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 88   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 89   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 90   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 91   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 92   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 93   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 94   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 95   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 96   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 97   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 98   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 99   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 100  | ...         | ...       | ...     | ...      |

**Technische Zeichnung:**

**Material:** ...

**Maßstab:** ...

**Gezeichnet:** ...

**Geprüft:** ...

**Freigegeben:** ...

**Technische Zeichnung:** ...

**Material:** ...

**Maßstab:** ...

**Gezeichnet:** ...

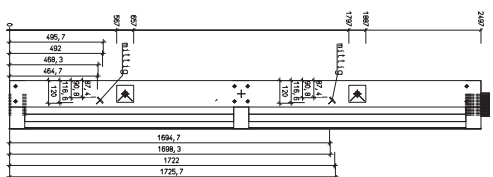
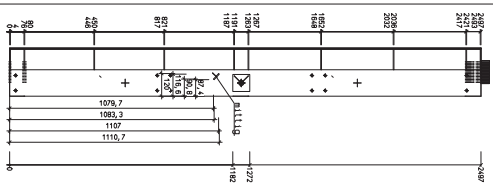
**Geprüft:** ...

**Freigegeben:** ...

**Bestandteile:**

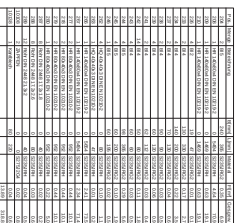
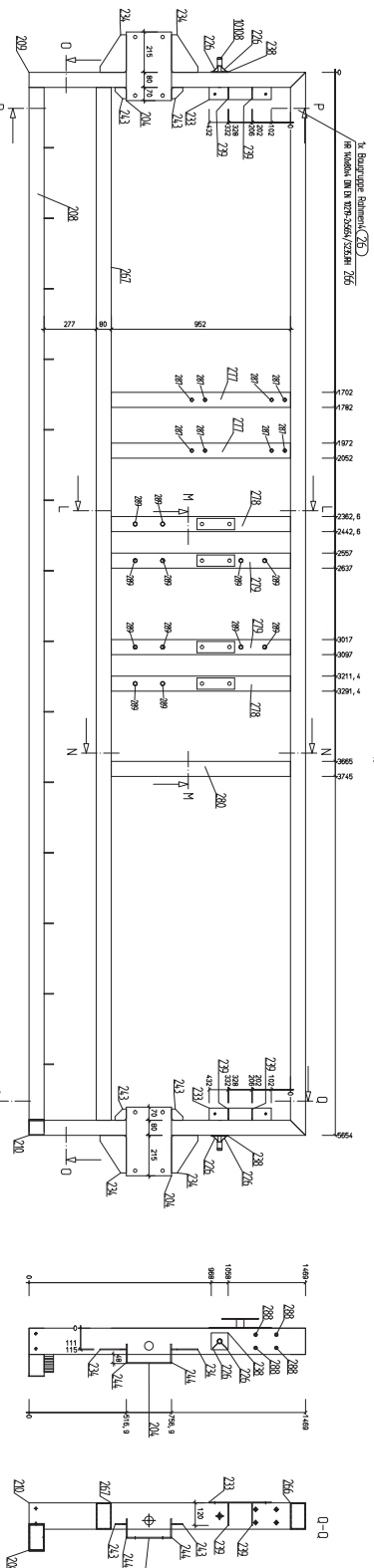
| Pos. | Bezeichnung | Stückzahl | Einheit | Material |
|------|-------------|-----------|---------|----------|
| 1    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 2    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 3    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 4    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 5    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 6    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 7    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 8    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 9    | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 10   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 11   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 12   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 13   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 14   | ...         | ...       | ...     | ...      |
| 15   |             |           |         |          |

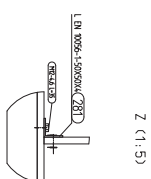
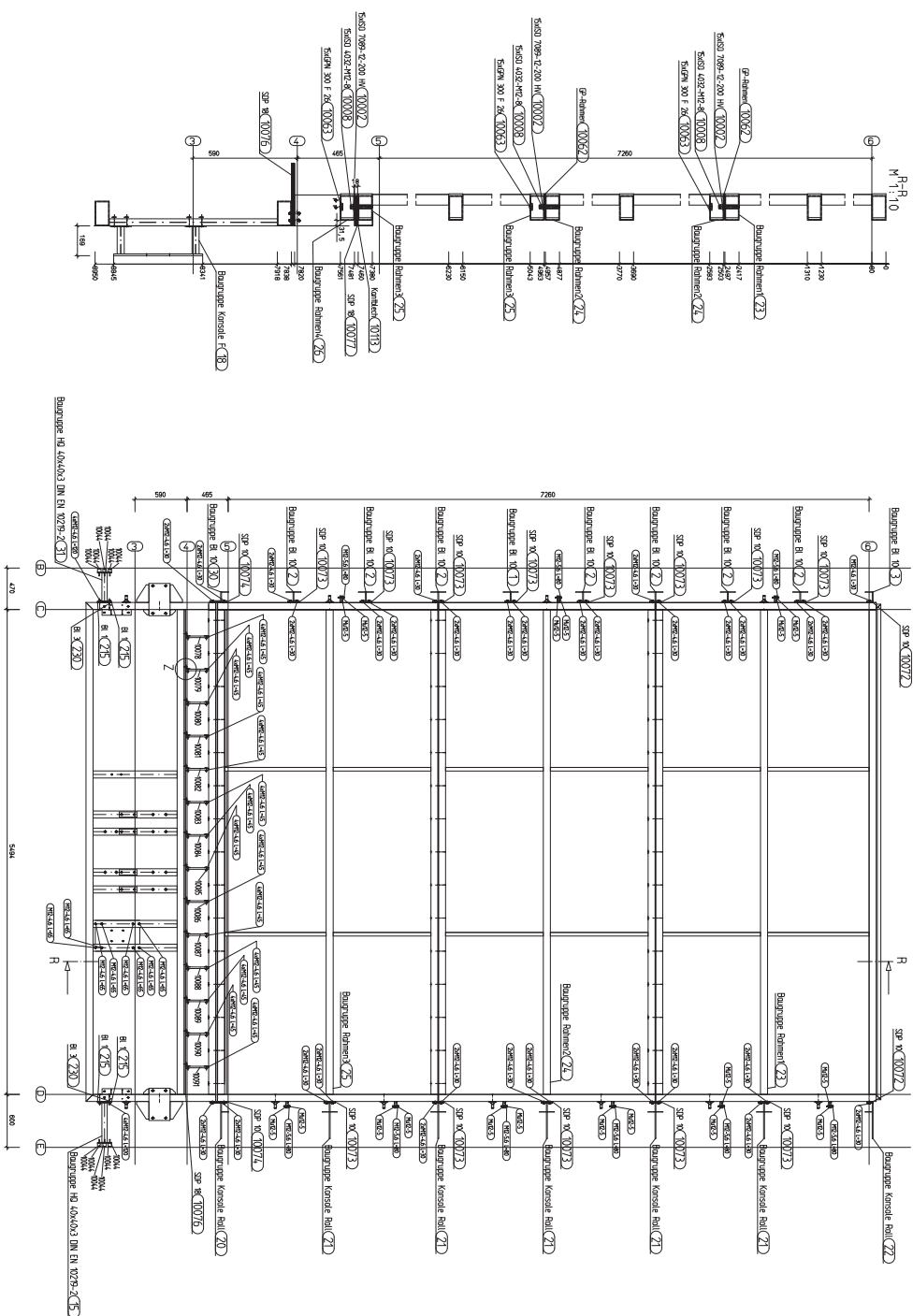
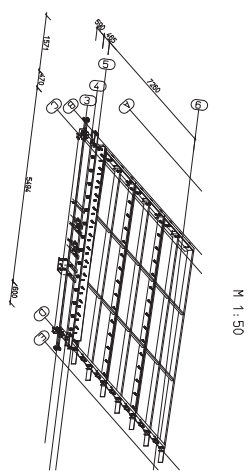
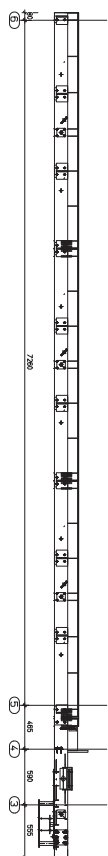




| Study | Study design       | Sample size | Age (years) | Gender | Prevalence (%) | 95% CI | OR | 95% CI |
|-------|--------------------|-------------|-------------|--------|----------------|--------|----|--------|
| 1996  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2000  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2001  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2002  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2003  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2004  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2005  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2006  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2007  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2008  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2009  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2010  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2011  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2012  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2013  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2014  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2015  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2016  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2017  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2018  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2019  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2020  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2021  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2022  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2023  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2024  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2025  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2026  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2027  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2028  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2029  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |
| 2030  | 1. cross-sectional | 120         | 40-60       | M      | 4.4            |        |    |        |

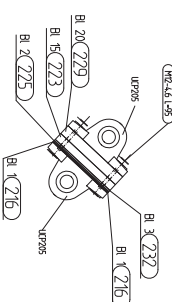
[illegible]

[illegible]

Bemerkungen:

## Hub Reire B

Baugruppe HC10



Baugruppe H 6

X (1:5)

FI 60x5 (251)

Baugruppe H07

Technical drawing of a manhole cover with the following specifications:

- Outer Diameter: 100mm
- Inner Hole Diameter: 100mm
- Thickness: 25mm
- Standards:
  - ISO 234-B-20x75-S1 (100x1)
  - ISO 1234-5x25 (100x0)
  - ISO 471-7x1x2 (100x0)
  - ISO 4035-10x0-0x (100x1)
  - ISO 6976-7 (100x3)
  - ISO 234-B-20x75-S1 (100x1)
  - ISO 1234-5x25 (100x0)
  - ISO 471-7x1x2 (100x0)
  - ISO 4035-10x0-0x (100x1)
  - ISO 6976-7 (100x3)
- Reference: Ref. EN 10720-2-25x25 (290)

Baugruppe HQ 40x40x3 DIN EN 10219-2 (14

W (1:5)

Baugruppe H **11**

Technical drawing of a mechanical assembly, showing a side view of a shaft with a pulley and a gear.

FI 60x5 252

FI 60x5 252

Baugruppe H 9

FI 60x5 (252)

FI 60x5 (252)

FI 60x5 (252) 

Baugruppe H5

Baugruppe H5

Fl 60x5 252

31

FI 60x5 (257) E

Baugruppe H5

E1 60x5 (257)

757 6300 11

Baugruppe H5



FI 60x5 252

Baugruppe H 4



Baugruppe HQ 40x40x3 DIN EN 10219-2 (17

Baugruppe H08

|           |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|
| Nr.       |  |  |  |  |
| Art       |  |  |  |  |
| Modus     |  |  |  |  |
| Stufe     |  |  |  |  |
| Belastung |  |  |  |  |
| Werkzeug  |  |  |  |  |

# Beerklingen

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 1**

|              |       |      |     |
|--------------|-------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 1 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |
| Stempel      | 100   | 100  | 100 |
| Werkzeug     | 100   | 100  | 100 |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 2**

|              |       |      |     |
|--------------|-------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 2 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |
| Stempel      | 100   | 100  | 100 |
| Werkzeug     | 100   | 100  | 100 |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 3**

|              |       |      |     |
|--------------|-------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 3 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |
| Stempel      | 100   | 100  | 100 |
| Werkzeug     | 100   | 100  | 100 |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 4**

|              |       |      |     |
|--------------|-------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 4 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |
| Stempel      | 100   | 100  | 100 |
| Werkzeug     | 100   | 100  | 100 |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 5**

|              |       |      |     |
|--------------|-------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 5 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |
| Stempel      | 100   | 100  | 100 |
| Werkzeug     | 100   | 100  | 100 |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 6**

|              |       |      |     |
|--------------|-------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 6 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |
| Stempel      | 100   | 100  | 100 |
| Werkzeug     | 100   | 100  | 100 |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 7**

|              |       |      |     |
|--------------|-------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 7 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |
| Stempel      | 100   | 100  | 100 |
| Werkzeug     | 100   | 100  | 100 |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 8**

|              |       |      |     |
|--------------|-------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 8 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |
| Stempel      | 100   | 100  | 100 |
| Werkzeug     | 100   | 100  | 100 |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 9**

|              |       |      |     |
|--------------|-------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 9 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |
| Stempel      | 100   | 100  | 100 |
| Werkzeug     | 100   | 100  | 100 |
| Schleifstein | 100   | 100  | 100 |

**Stempel für die deutsche Bauernzettel Nr. 10**

|              |        |      |     |
|--------------|--------|------|-----|
| Bauernzettel | Nr. 10 | Mtl. | E   |
| Schleifstein | 100    | 100  | 100 |
| Stempel      | 100    | 100  | 100 |
|              |        |      |     |

