




Studiengang Systemtechnik
Vertiefungsrichtung Design & Materials

Bachelorarbeit
Diplom 2016

Joél Amacker

*Design der Versuchsplattform einer
Durchströmturbine*

-  Dozent/in
Cécile Münch
-  Experte/Expertin
Nino Brunner
-  Datum der Abgabe des Schlussberichts
15.07.2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Aufbau Projekt.....	1
1.2	Ziele	2
1.3	Ablauf der Diplomarbeit.....	3
2	Konzeption der Struktur	4
2.1	Marktanalyse.....	4
2.1.1	Mögliche Befestigungssysteme Auswahl	4
2.1.2	Mögliche Befestigungssysteme-Entscheidung	8
2.1.3	Mögliche Führungssysteme Auswahl	9
2.1.4	Mögliche Führungssystem-Entscheidung.....	11
2.2	Konstruktionskonzept	12
2.2.1	Sockel.....	13
2.2.2	Führung / Verbindung Sockel	13
2.2.3	Befestigung der Turbine	14
2.2.4	Montagehilfe	16
2.2.5	Ausrichtung der Turbine.....	16
2.2.6	Befestigung der Gesamtkonstruktion	16
2.2.7	Arbeiten bei der Turbine (Podest).....	17
2.2.8	Hebemechanismus / Trägerbalken	18
2.2.9	Stromverbindung / Stromtransport	19
2.2.10	Korrosionsschutz	19
2.3	Montage- und Demontagekonzept.....	20
3	Analyse der Konstruktion	24
3.1	Dimensionierung	24
3.2	Werkstoffauswahl	26
3.2.1	Zu erfüllenden Vorgaben.....	26
3.2.2	Auswahl	26
3.3	Analyse des Einflusses von Schraubverbindungen.....	31
3.3.1	Netzanalyse	32
3.3.2	Modalanalyse	35
3.3.3	Statische Analyse	37
3.4	Schwingungen Einleitung	39
3.4.1	Grenzwert für Eigenschwingungen / Anregung durch Personen.....	39

3.4.2	Anregung durch Karmansche Wirbel im Wasser.....	40
3.4.3	Anregung durch Wind	42
3.5	Schwingungssimulationen	43
3.5.1	Modalanalyse der Plattform.....	43
3.5.2	Modalanalyse Gesamtkonstruktion	46
3.5.3	Einfluss von exzentrischen Belastungen.....	49
3.6	Statische Festigkeitsberechnungen.....	50
3.6.1	Vergleich: Simulation Inventor / Manuelle Nachrechnung.....	50
3.6.2	Simulationen zur Konstruktion der Plattform	54
3.6.3	Exzentrische Belastung bei der Plattform	59
3.6.4	Simulation der statischen Festigkeit der Gesamtkonstruktion	61
4	Berechnungen	64
4.1	Dimensionierung der Stahlseile.....	64
4.1.1	Maximale Kraft im Seil.....	64
4.1.2	Reelle Gewichtskraft	67
4.2	Kontrolle des Anpressdruckes nach der Seilmontage	68
4.3	Knickung	70
4.4	Tauchverhalten der Turbine	72
4.5	Dimensionierung des Flaschenzuges.....	74
5	Schluss und Ausblick.....	75
5.1	Abklärung für die Zertifizierung	75
5.2	Perspektive	76
5.3	Schlusswort	77

1 Einleitung

1.1 Aufbau Projekt

Bei der Diplomarbeit ging es darum, eine Konstruktion zur Befestigung einer neuartigen Durchströmturbine zu entwickeln. Die Arbeit ist Bestandteil eines Forschungsprojektes mit dem Namen: „Entwicklung einer Durchströmturbine für künstliche Gewässer“ und wird von der Hydroabteilung der Fachhochschule Wallis in Sion ausgeführt. Das Ziel dieses Projektes ist es, aus künstlichen Gewässern wie zum Beispiel eines Auslaufkanales eines Wasserkraftwerkes Energie zu gewinnen. Dabei wird die kinetische Energie des Wassers mit Hilfe von Turbinen in elektrische Energie umgewandelt. Mitfinanziert wird das gesamte Projekt vom Bundesamt für Energie (BFE) und der Stiftung „The Ark“. Die Herstellung der Versuchsplattform und der Turbine wird von der Firma Stahlembau GmbH aus Stalden übernommen.

Als Standort für den Versuchsaufbau wurde der Ausflusskanal des Flusswasserkraftwerkes in Lavey (VD) gewählt. Dieser Standort bietet den Vorteil, dass sich zwischen dem Wasserkraftwerk und dem Rückfluss in die Rhone eine Brücke befindet. Dadurch war es möglich, die Turbine in der Mitte des Kanals zu positionieren und zugleich einen relativ einfachen Zugang über die Brücke zu haben. Theoretisch wäre es auch möglich, mehrere Turbinen nebeneinander zu montieren (Abbildung 1). Zudem bietet der Auslaufkanal eines Wasserkraftwerkes den Vorteil, dass das Wasser kurz bevor es auf die Durchströmturbine trifft, durch einen Treibgutrechen geflossen ist. Dadurch muss man nicht mit grossen Gegenständen im Wasser rechnen, welche den Wassereinfluss der Turbine behindern oder schlimmstenfalls sogar die Turbine selber beschädigen könnte.

Das gesamte Projekt besteht aus mehreren Etappen. Die erste Etappe bestand darin einen geeigneten Standort für die Versuche zu finden. Als nächstes mussten verschiedene Messungen vor Ort durchgeführt werden, um die Charakteristiken des Kanals zu bestimmen (Durchfluss, Verwirbelungen, etc.). Danach kam man in die eigentliche Konstruktionsphase, die sich aufteilte in die Turbinenkonstruktion und die Konstruktion der Versuchsplattform. Im weiteren Verlauf wird das Ganze hergestellt und vor Ort montiert. Anschliessend beginnt die Testphase der Turbine, welche circa vier bis sechs Monate beanspruchen dürfte. Als letztes werden die verschiedenen Messwerte ausgewertet und die Konstruktion wieder demontiert.

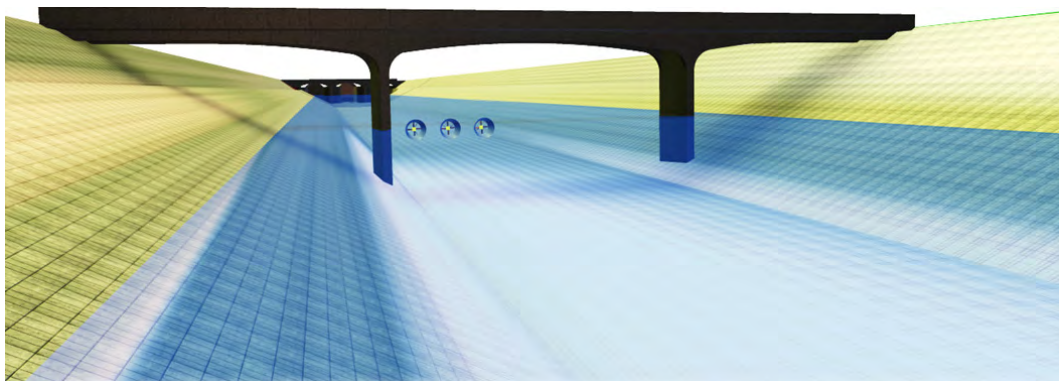


Abbildung 1: Schema der Lage vor Ort mit drei Turbinen aber ohne Versuchsplattform

1.2 Ziele

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer Befestigung für eine neuartige Durchströmturbine. Mit einem Teil dieser Arbeit wurde bereits während einer Projektarbeit im letzten Semester begonnen. Während der Diplomarbeit war nun das Ziel, dass man auf der bereits bestehenden Arbeit aufbauend die Konstruktion weiter ausarbeitet. Besonderen Wert wurde dabei auf die gemachten Festigkeits- und Steifigkeitsanalysen gelegt.

Während der Diplomarbeit mussten folgende Punkte erledigt werden:

- Statische Festigkeitsanalysen, Festigkeit gegebenenfalls verbessern
- Dynamische Festigkeitsanalysen (Frequenzverhalten), gegebenenfalls versteifen der Konstruktion
- Berechnung der Kräfte in den Befestigungsseilen
- Werkstoffauswahl
- Abklärungen zur Zertifizierung der Versuchsplattform
- Ausarbeiten eines Montagekonzepts

1.3 Ablauf der Diplomarbeit

Die Diplomarbeit war aufbauend auf der Konstruktion, welche bereits während dem vorangegangenen Semesterprojekt konstruiert wurde. Die ersten drei Wochen der Diplomarbeit verbrachte ich in der Firma Stahleinbau GmbH (Abbildung 2). Dort wurden unter anderem beim Sockel einige Änderungen vorgenommen. Des Weiteren wurden erste Simulationen durchgeführt. Für die Simulationen wurde während dem ganzen Projekt die Software Autodesk Inventor verwendet. Bei den in der Firma Stahleinbau GmbH durchgeführten Simulationen, handelte es sich aber ausschliesslich um Kontrollen bezüglich der statischen Festigkeit. Zusätzlich wurden während dieser Zeit der grosse Teil der Werkstattzeichnungen erstellt.

Der zweite Teil der Diplomarbeit fand wiederum in den Gebäuden der Fachhochschule Valais/Wallis in Sion statt. In diesem Teil widmete man sich vor allem den dynamischen Festigkeitsberechnungen. Als erster Schritt dabei, mussten Normen gefunden werden, an welchen man sich bezüglich der Eigenfrequenzen orientieren konnte. Anschliessend begann man mit der Modalanalyse. Diese Analyse hat aufgezeigt, dass noch ein paar Änderungen vorgenommen werden mussten. Die Hauptaufgabe bestand darin, die Eigenfrequenz der Konstruktion zu erhöhen. Um den Fortschritt zu kontrollieren bzw. zu schauen, ob die vorgenommen Änderungen überhaupt etwas gebracht haben, wurden fortlaufend neue Analysen durchgeführt.

Im Verlauf der letzten zwei Wochen wurden deshalb die gesamten Simulationen (Statisch und Modal) nochmals mit der aktualisierten Version durchgeführt.

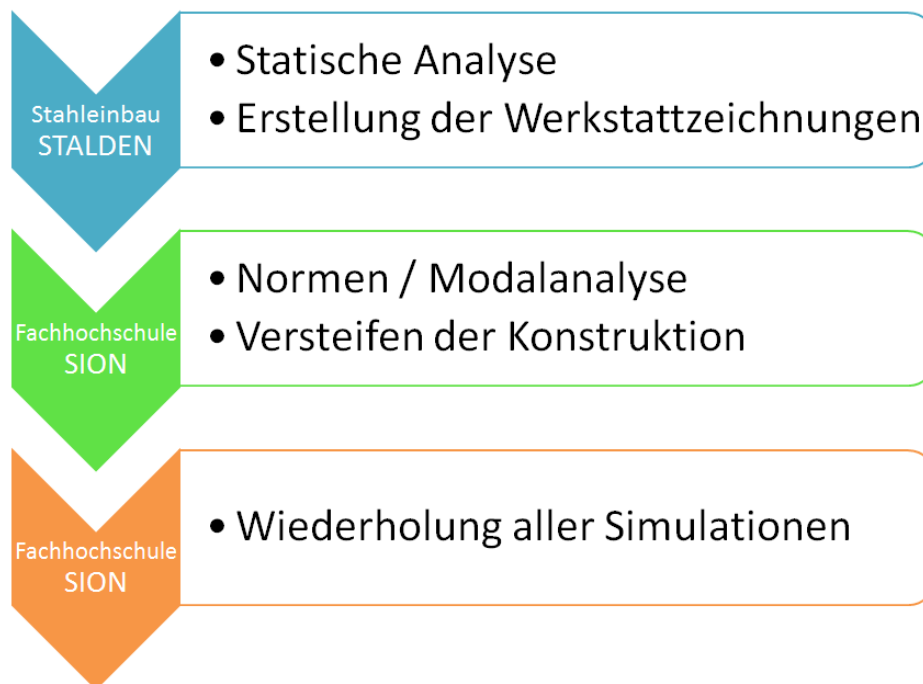


Abbildung 2: Ablauf der Diplomarbeit

Erläuterungen zum Bericht

Im ersten Teil des Berichtes geht es um die Konzeption der gesamten Struktur. Dazu wird in einem ersten Schritt eine Marktanalyse von bereits bestehenden Befestigungsarten durchgeführt. Anschliessend wird die eigentliche Konstruktion erklärt und im letzten Abschnitt des ersten Teils gibt es eine Montageanleitung. Im zweiten Teil des Berichtes werden die ganzen Simulationen erklärt und auch die entsprechenden Schlüsse gezogen. Als erstes wird der Einfluss von Schrauben auf die Simulationsergebnisse diskutiert. Danach werden statische und modale Analysen für das Podest sowie die gesamte Versuchsplattform durchgeführt. Zudem gibt es dort ein Kapitel zur Materialauswahl. Im letzten Hauptabschnitt geht es dann vor allem um Berechnungen zu verschiedenen Themen wie: Seilkräfte, Einfluss der Seilbefestigung, Tauchverhalten etc.

2 Konzeption der Struktur

2.1 Marktanalyse

Zu Beginn der Konstruktionsphase wurde eine Marktanalyse der verschiedenen Befestigungssystemen sowie Führungssystemen durchgeführt. Beim ersten Teil der Marktanalyse wurden die verschiedenen Befestigungssysteme für die Turbine angeschaut. Im Grundsatz gab es dort drei verschiedene Möglichkeiten, welche im nächsten Abschnitt etwas genauer erläutert werden. Der zweite Teil der Marktanalyse bestand darin, mögliche Führungssysteme für die Höhenpositionsverstellung der Turbine zu evaluieren. Bei diesem Teil war die Auswahlmöglichkeit viel grösser. Aus diesem Grund wurde bereits im Vorfeld eine Grobauswahl getroffen und nur Systeme mit einem gewissen Potential genauer angeschaut. Um am Schluss eine wirkliche Entscheidung zu treffen, wurden die verschiedenen Systeme bezüglich einiger Auswahlkriterien mit Punkten bewertet.

2.1.1 Mögliche Befestigungssysteme Auswahl

2.1.1.1 FSM (Floating Structure System)

Die erste Möglichkeit, die es bereits auf dem Markt gibt, um Turbinen zu befestigen, ist das sogenannte "Floating Structure System" (FSM). Hier ist die Befestigung eine Art Floss, d.h. es gibt keine feste Fixierung mit dem Boden, sondern nur ein paar Kabel, die das Floss vor dem wegschwimmen sichern. Das grobe Prinzip ist ähnlich einem Schiff, welches vor Anker liegt. Im nächsten Abschnitt, werden die Vor- und Nachteile aufgelistet. [1]

Vorteile:

- Turbine hat immer den gleichen Abstand zur Wasseroberfläche. (Je näher zur Oberfläche desto höher die Fließgeschwindigkeit)
- Kleiner Aufwand für die Montage
- Stromkabel könnte mit Verbindungskabel gekoppelt werden. (Es muss nicht extra etwas konstruiert werden)
- Man sieht nicht viel von der Konstruktion
- Einfache Demontage

Nachteile:

- Das Ganze System müsste über Kabel zusätzlich fix verbunden werden.
- Bezüglich der Positionierung wäre es nicht zu hundert Prozent fix
- Zugang müsste über Boot gewährleistet werden. (Mühsam und teuer)
- Instabile Plattform (Sicherheit)

2.1.1.2 NSM (Near Surface Structure System)

Eine weitere gängige Art Durchströmturbinen zu befestigen, ist die Befestigungsmethode "Near Surface Structure System" (NSM). Bei dieser Methode wird die Befestigung der Turbine fix mit einer örtlichen Konstruktion verbunden. In diesem Fall ist es die Brücke, mit der die Konstruktion verschraubt wird. [1]

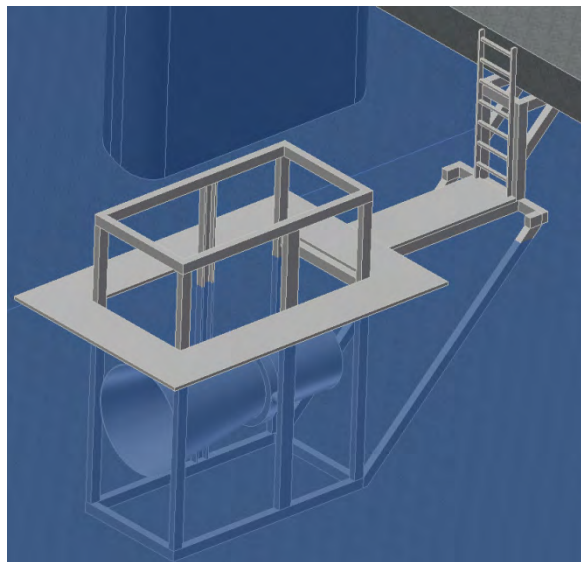


Abbildung 3: Befestigung NSM (kein Kontakt zum Boden)

Vorteile:

- Einfache Energieübertragung zum Kanalrand (nicht im Wasser)
- System ist fix.
- Einfacher Zugang (direkt von der Brücke)
- Sicherheit

Nachteile:

- Im Verhältnis eine grosse mechanische Konstruktion (teuer)
- Aufwendige Montage
- Aspekt ist nicht gut (grosses Konstrukt)
- Demontage ist langwierig
-

2.1.1.3 BSM (Bottom Structure System)

Die letzte gängige Möglichkeit wie Durchströmturbinen befestigt werden, ist die Konstruktion auf den Boden des Gewässers bzw. des Kanals zu stellen. Der übliche Name ist "Bottom Structure System" (BSM). Bei dieser Befestigungsmethode wurde noch zwischen zwei Untersystemen unterschieden. Beim ersten Untersystem wird die Konstruktion mit dem Boden verschraubt und bei der zweiten Methode wird die ganze Konstruktion nur auf den Boden gestellt und mittels Stahlseilen gegen das Wegrutschen gesichert. Die Anzahl der Füsse beträgt drei. Der Grund dafür ist, dass man bei dieser Anzahl kein Risiko des Hin- und Herwackelns eingeht. [1]

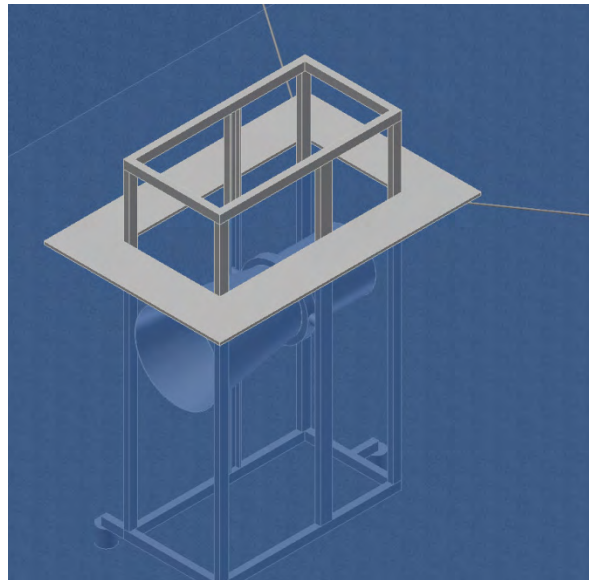


Abbildung 4: Befestigung BSM mit Stahlseilen

Konstruktion mit Verschraubungen**Vorteile:**

- Das Ganze System wäre fix
- Keine zusätzliche Konstruktion (Brückenbefestigung)
- Einfache Ausrichtung der Turbine
- Aspekt ist gut (der Grossteil vom Konstrukt ist im Wasser)

Nachteile:

- Befestigung am Boden wäre sehr teuer (mit Hilfe von Tauchern)
- Mühsamer Zugang evtl. über Boot
- Befestigung über horizontale Seile, die Systeme auf den Boden drücken möglich, jedoch braucht es Verankerungen
- Für Energieübertragung braucht es ein spezielles System
- Komplizierte Demontage

Konstruktion mit Seilbefestigung**Vorteile:**

- Keine Teure Befestigung am Boden
- Keine zusätzliche Konstruktion (Brückenbefestigung)
- Relativ stabil (durch Eigengewicht bereits grosse Reibungskraft am Boden)
- Einfache Demontage

Nachteile:

- Mühsamer Zugang evtl. über Boot
- Zur Befestigung des Gesamtsystems müsste mit Stahlseilen gearbeitet werden
- Für Energieübertragung braucht es ein spezielles System
- Aspekt ist nicht gut (grosse Teile von der Befestigung sind über Wasser und somit sichtbar)

Kombination NSM und BSM

Als vierte Möglichkeit wurde noch über eine Kombination zwischen der Fixierung "Bodenbefestigung mit Seil" (BSM) und "Befestigung an der Brücke" (NSM) betrachtet. Das Ziel hierbei war, die jeweiligen Vorteile zu übernehmen und die Nachteile zu eliminieren. Hierbei würde aber auf die Seile verzichtet, da diese Kräfte von den Verschraubungen mit der Brücke aufgenommen werden könnten.

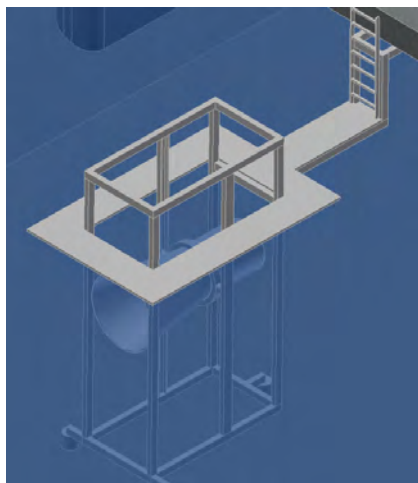


Abbildung 5: Befestigung "Kombination" (NSM & BSM)

Vorteile:

- Keine Teure Befestigung am Boden
- Einfacher Zugang über Brücke
- Relativ stabil (durch Eigengewicht bereits grosse Reibungskraft am Boden)

Nachteile:

- Mühsamer Zugang (über Boot)
- Zur Befestigung des Gesamtsystems müsste mit Stahlseilen gearbeitet werden
- Für Energieübertragung braucht es ein spezielles System
- Demontage ist langwierig

2.1.2 Mögliche Befestigungssysteme-Entscheidung

Um schlussendlich die ganzen Vor- & Nachteile abzuwägen, wurde wie bereits oben erwähnt, eine Bewertungsmatrix erstellt, wo verschiedene Einflüsse gewichtet wurden. Dadurch bekam man einen guten Überblick und erleichterte die Entscheidungsfindung in grossem Masse.

Bewertungsmatrix für Befestigung der Turbine in Lavey	Preis	Sicherheit	Positionierung	Zugang	Elektrische Verb.	Aspekt	Demontage	Total
Floating Structure Mounting (FSM) (Schwimmer)	2	1	1	1	2	3	3	13
Near-Surface Structure Mounting (NSM)	2	3	2	3	3	1	1	15
Bottom Mounting Structure (BSM)								0
Mit Verschraubung	0	2	2	1	2	3	0	10
Tripod (Über Seile)	3	2	2	1	2	2	3	15
Kombination BSM & NSM	2	3	2	3	3	1	1	15
	3= sehr gut		0= sehr schlecht					

Tabelle 1: Bewertungsmatrix der Befestigungsmöglichkeiten

Wie man in der Tabelle 1 sieht, gab es drei Befestigungsmöglichkeiten mit der gleichen Punktzahl. Diese sind NSM, BSM (mit Seil) und der Kombination (NSM & BSM). Es spielt aber trotzdem noch eine Rolle, welches von diesen drei Systemen man nimmt. Der Grund dafür ist, dass alle Einflüsse gleich gewichtet wurden. Dies ist aber zu einfach, da für den Geldgeber zum Beispiel der Preis und der Aspekt sicherlich nicht den gleichen Einfluss haben. Am Schluss fiel die Entscheidung zu Gunsten des Systems BSM (mit Seil). Der ausschlaggebende Punkt war, dass man bei den anderen Systemen

Löcher in die Brücke hätte bohren müssen. Dadurch ergeben sich zwei Probleme. Einerseits würde dies vielleicht durch den Brückenverantwortlichen verboten und andererseits könnte im Falle eines Problems bezüglich der Montage bzw. Demontage eine sehr kostspielige Sanierung der betroffenen Stelle an der Brücke nötig werden.

Betreffend der obigen Marktanalyse gilt es zu erwähnen, dass zu Beginn des Projektes davon ausgegangen war, dass das Podest knapp über dem Wasser liegen würde, um die Konstruktion so klein und unauffällig wie möglich zu halten. Nach einer Sitzung mit der für die Sicherheit betrauten Firma entschied man sich, die Konstruktion hinaufzusetzen, um so einen einfacheren und sichereren Zugang zu haben. Die ursprüngliche Idee war es, dass man über eine Leiter hinab auf die Plattform gelangen würde.

2.1.3 Mögliche Führungssysteme Auswahl

Bei dem Führungssystem für die Höhenverstellung der Turbine wurde wieder eine ähnliche Analyse durchgeführt wie für das Befestigungssystem. In einem ersten Schritt wurde hier aber schon eine Grobauswahl getroffen und nur noch drei Systeme intensiver behandelt. Beim ersten System handelt es sich um Rollenführung, beim Zweiten um Gleitführungen und beim letzten um eine Art Rohrführung.

2.1.3.1 Rollenführungen

Bei den Rollenführungen handelt es sich um ein Führungssystem, welches vor allem in Aufzügen Verwendung findet. Das Hauptplus bei dieser Art Führung liegt vor allem in der Genauigkeit.



Abbildung 6: Rollenführung, wie sie in Aufzügen verwendet werden

Vorteile:

- Rollenführungen bieten den Vorteil, dass mit ihnen eine sehr genau und relativ spielfreie Führung möglich ist.
- Anwendung auch bei grossen Kräften
- Die Reibkraft ist sehr klein

Nachteile:

- Führungen dieser Art sind sehr teuer (CHF 250.- -300.-)
- Für Unterwasserbetrieb bräuchte man Spezialausführungen
- Empfindlich gegen Schmutz (Sedimente und Sand)

2.1.3.2 Gleitführungen

Eine weitere Möglichkeit für eine Führung sind Gleitführungen. Diese Art von Führungen findet man wie bereits die Rollenführungen vielfach in Aufzügen und anderen Systemen, wo mit hohen Belastungen gerechnet werden muss.



Abbildung 7: Gleitführung mit Halteschuh ohne Kunststoffeinlage

Vorteile:

- Weniger teuer als Rollenführung
- Problemlos unter Wasser einsetzbar, keine Korrosion
- Relativ genau

Nachteile:

- Reibungskraft könnte trotz Gleitführung recht gross werden

2.1.3.3 Rohrführung

Die letzte Möglichkeit, die in Betracht gezogen wurde, ist eine Art Rohrführung. Das heisst, es wird im Prinzip mit Rohren gearbeitet, welche zwei unterschiedliche Durchmesser haben und dadurch ineinander gesteckt werden können und somit gegeneinander verschiebbar sind. Eventuell könnte auch mit offenen Rohrprofilen gearbeitet werden. Zudem könnte man hier auch Kunststoffeinlagen verwenden, um die Reibung etwas zu verringern.

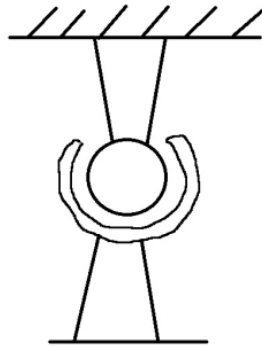


Abbildung 8: Rohrleitung mit offenem Rohr als Gegenführung

Vorteile:

- Der Preis würde bei dieser Lösung nicht so hoch sein
- Keine Probleme mit der Korrosion
-

Nachteile:

- Die Führung wäre nicht so genau
- Es könnte relativ grosse Reibkräfte geben

2.1.4 Mögliche Führungssystem-Entscheidung

Um die Vor- und Nachteile der verschiedenen Möglichkeiten wieder auswerten zu können, wurde wiederum eine Bewertungsmatrix mit verschiedenen Kriterien erstellt.

Bewertungsmatrix für Linearführungen der Turbinenbefestigung in Lavey	Preis	Genauigkeit	Korrosionsbeständigkeit	Schmutzbeständigkeit	Kraftaufwand / kleine Reibkraft	Total
Rollenführung (Aufzug)	1	3	1	1	3	9
Halteschuh mit Einlagen (Aufzug)	2	2	3	2	2	11
Rundprofil & Halbrundprofil	3	1	3	3	1	11
	3=gut		1=schlecht			

Tabelle 2: Bewertungsmatrix der verschiedenen Führungssysteme

In der Tabelle 2 sieht man, dass es hier wieder mehrere Möglichkeiten gibt, die gleich viele Punkte erhalten haben, nämlich der Halteschuh mit den Einlagen sowie das Rundprofil & Halbrohrprofil (Rohrleitung). Der Schlussentscheid viel in diesem Fall auf die Rohrleitung. Der Grund dafür war vor allem konstruktionsbedingt. In einem Vorentscheid legte man sich darauf fest, dass die Turbine nur über zwei Hauptführungen geführt werden sollte, sprich über zwei grosse Rohre links und rechts der

Turbine. Dadurch war man schon fast bei der Rohrführung, weshalb auch diese gewählt wurde. Zudem kann die Rohrführung auch ohne Probleme selber hergestellt werden dies kann zusätzlich Kosten sparen und dabei helfen, das Budget einzuhalten.

2.2 Konstruktionskonzept

In den folgenden Abschnitten wird etwas detaillierter auf das Konstruktionskonzept eingegangen. Auf der Abbildung 9 sieht man bereits ein erstes Bild der Befestigung. Die ganze Konstruktion hat eine Grösse von 6'588 mmx 4'237 mmx 13'029 mm. Das Grundkonzept für diese Turbinenbefestigung ist wie folgt:

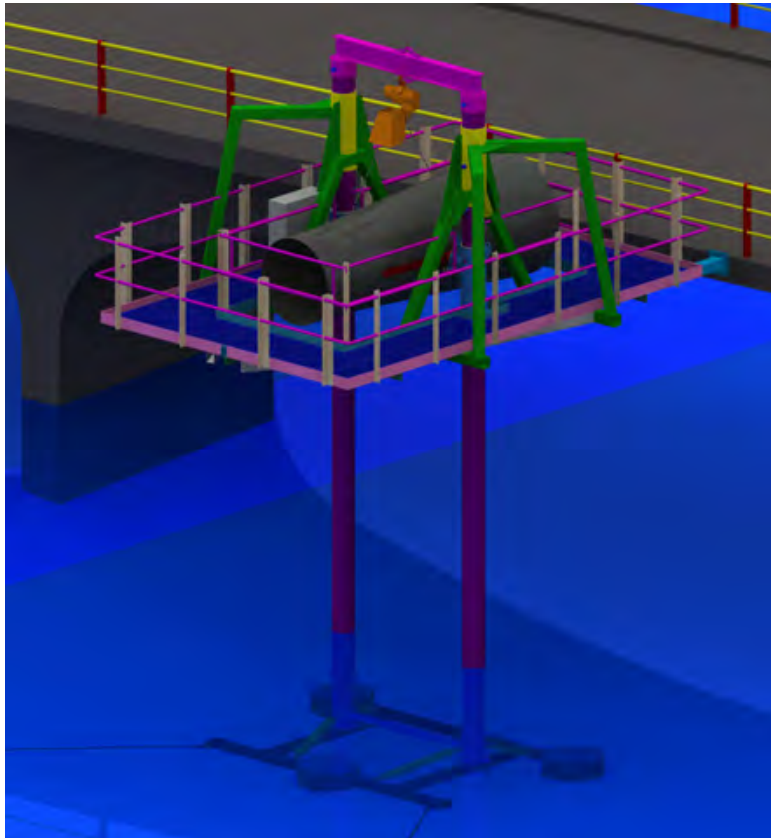


Abbildung 9: Gesamtkonstruktion für die Turbinenhalterung

Die Basis der Konstruktion wird von einem Sockel gebildet, welcher über drei Zylinder verfügt, die mit Beton gefüllt sind. Auf den Sockel werden im Folgenden die Führungsrohre montiert. Diese zwei Bestandteile bilden im Prinzip das Grundgerüst der Konstruktion. Die Turbinenhalterung besteht aus zwei Profilen, welche direkt mit der Turbine verschweisst sind. Diese zwei Profile werden mit Hilfe eines Zwischen- bzw. eines Verbindungsstücks mit der eigentlichen Führung verbunden. Durch die eigentliche Führung wird gewährleistet, dass sich die Turbine auf und ab bewegen lässt. Am Ende der der Hauptführung zu oberst gibt es einen Querbalken, den sogenannten Trägerbalken. Dieser verbindet einerseits die beiden Rohre miteinander und andererseits wird an ihm ein Flaschenzug angebracht, an welchem schlussendlich die Turbine aufgehängt wird. Damit an der Turbine gearbeitet werden kann, verfügt die ganze Konstruktion noch über ein Podest. Dieses Podest umschliesst die ganze Turbine. Als weitere Sicherheit verfügt die Konstruktion bzw. die Plattform auch noch über ein Geländer. Der Zutritt zur Turbine bzw. zur Plattform wird über die Brücke sichergestellt, da sich die Plattform auf gleicher Höhe wie die Fahrbahnhöhe befindet.

2.2.1 Sockel

Bei dem Sockel handelt es sich grösstenteils um eine Rohrkonstruktion, welche mit Hilfe von drei Betongewichten beschwert wird. Der Sockel ist 3'100 mm x 4'800 mm x 1000 mm gross. Das Gewicht beläuft sich auf ungefähr 3'600kg. Das Gewicht verleiht der ganzen Konstruktion die nötige Standsicherheit, damit sie nicht vom Wasser umgekippt werden kann, zudem erhält die ganze Konstruktion durch den Sockel die nötige Grundsteifigkeit. Die Anzahl der Füsse wurde bewusst auf drei gelegt, da dadurch ein hin und her wackeln des Sockels vollumfänglich ausgeschlossen werden kann. (Abbildung 10)

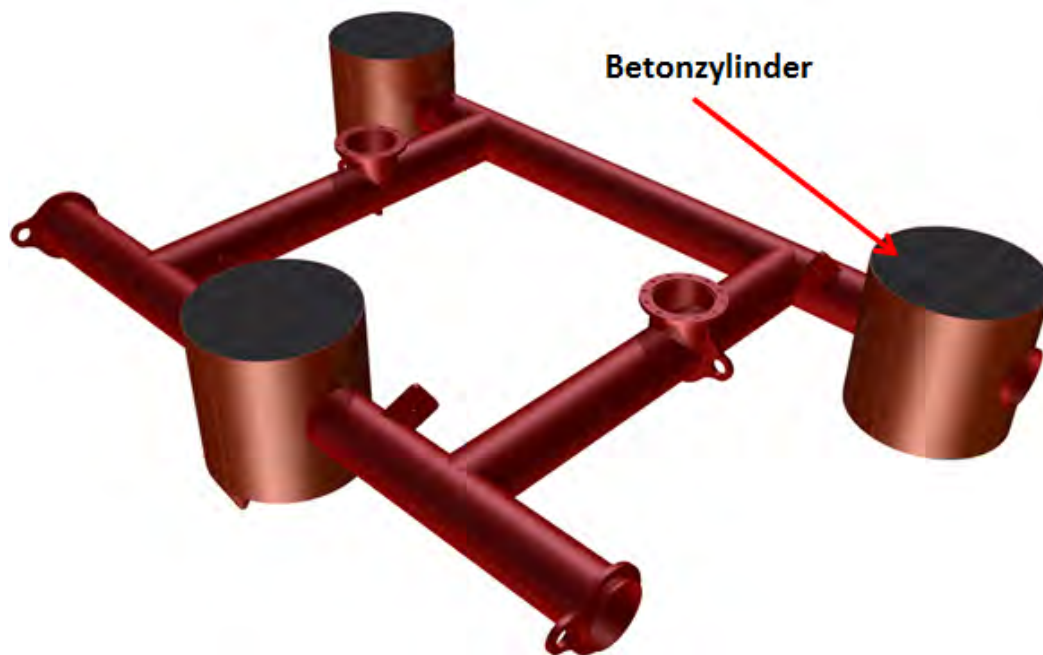


Abbildung 10: Sockel mit drei Betonzylindern

2.2.2 Führung / Verbindung Sockel

Die Führung der Turbine für die Auf- und Abbewegung wird mittels zweier Stahlrohre sichergestellt, welche über Flansche mit dem Sockel verbunden sind. Die Führungsrohre haben einen Durchmesser von 298.5 mm und eine Länge von 11'912 mm. Um die Rohre gegen eine zu hohe Biegespannung zu schützen, wurden pro Rohr jeweils zwei Stützen hinzugefügt (Abbildung 11). Bei diesen Stützen handelt es sich um Vierkanthohlprofile, welche mittels Schrauben mit dem Sockel und den Führungsrohren verbunden sind. Damit die Rohre untereinander den gleichen Abstand halten gibt es noch eine Querverbindung, welche verschweisst wird. Da diese Rohre als Lauffläche für die Führung der Turbine dienen, dürfen diese nicht korrodieren. Aus diesem Grund werden sie feuerverzinkt.

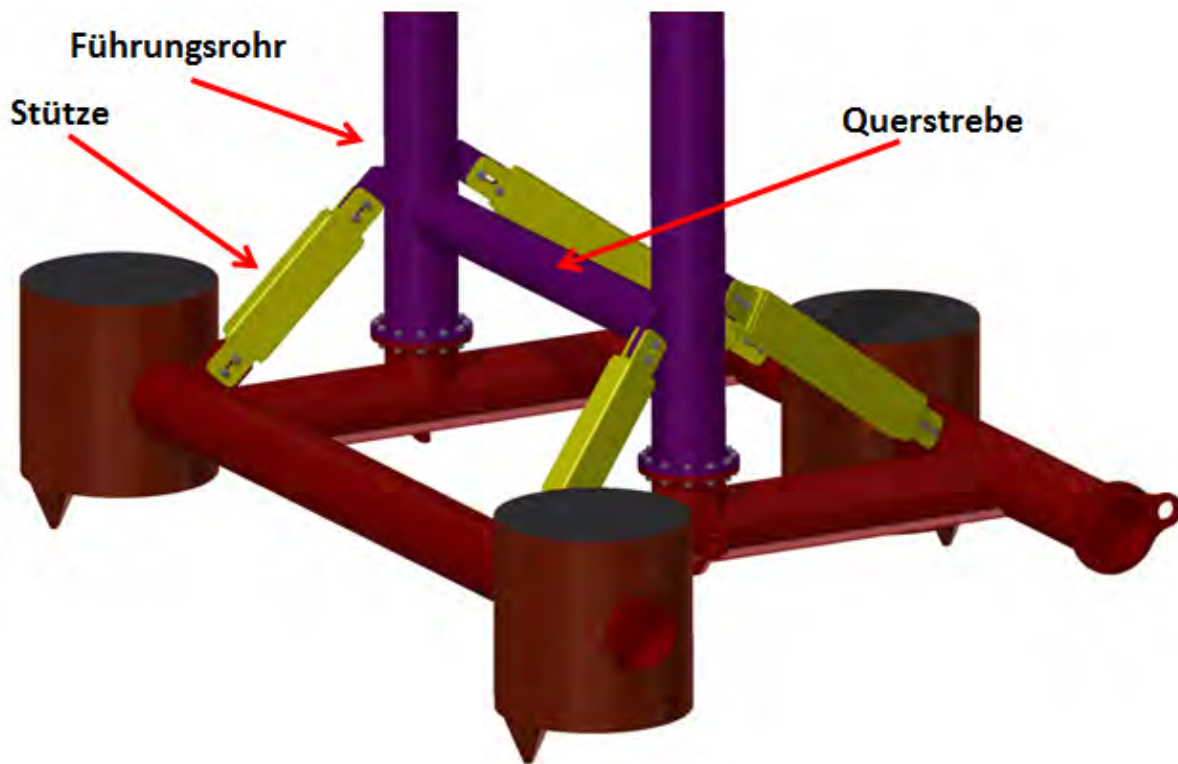


Abbildung 11: Sockel mit Führungsrohr und Stützen

2.2.3 Befestigung der Turbine

Bei der Befestigung der Turbine wurde direkt ein Profil an das Gehäuse der Turbine angeschweisst. Auf einer Seite der Turbine wurde ein Zapfen an das Profil geschweisst (Abbildung 12) damit die Turbine über einen Drehpunkt verfügt und man sie neigen kann. Auf der Gegenseite gab es dieses Mal einen Flansch (Abbildung 13). Dieser Flansch war aber nicht komplett rund, sondern verfügte über eine Art Zahn.

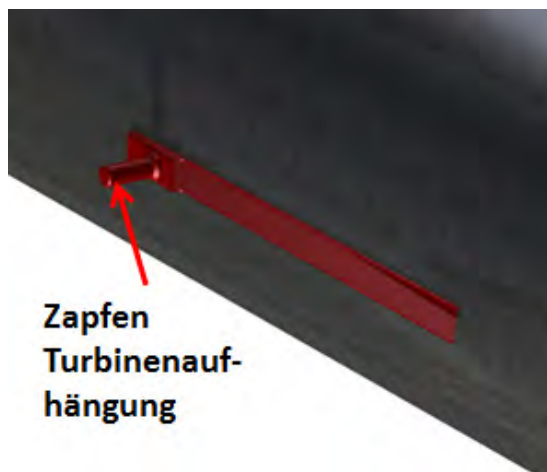


Abbildung 12: Zapfen Turbinenaufhängung

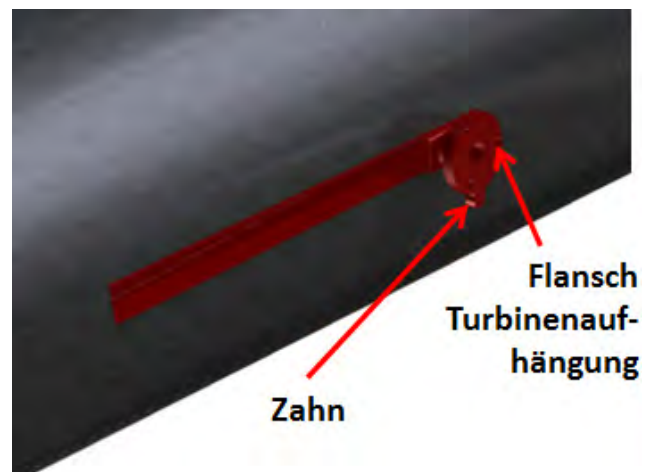


Abbildung 13: Flansch Turbinenaufhängung

Damit die Turbine mit den beiden Hauptrohrführungen verbunden werden kann, werden Zwischenstücke verwendet. Für die Seite mit dem Zapfen gibt es eine Art Schale, wo der Zapfen hineingelegt wird. Zur Fixierung dieser Seite gibt es noch ein Gegenstück, welches auf die Schale

aufgeschraubt wird und es dadurch blockiert (Abbildung 14). Auf der anderen Seite gibt es wiederum einen Flansch. Auf diesen wird ein Zapfen geschweisst. Zusätzlich verfügt der Flansch über zwei angeschweisste Platten mit einer Bohrung. An diese Platten wird wiederum eine Mutter angeschweisst (Abbildung 15). Bei der Montage kommt der Zahn des anderen Flansches (Abbildung 13) in die Lücke zwischen den Platten. Durch Verstellen der in der Mutter befestigten Schraube, kann der Zahn um die eigene Achse gedreht werden und dies führt zu einer Winkeländerung der gesamten Turbine. Die Langlöcher gibt es, damit ein gewisser Drehwinkel möglich ist und damit man die Position der Turbine fixieren kann.



Abbildung 14: Aufnahme Zapfen & Büchse

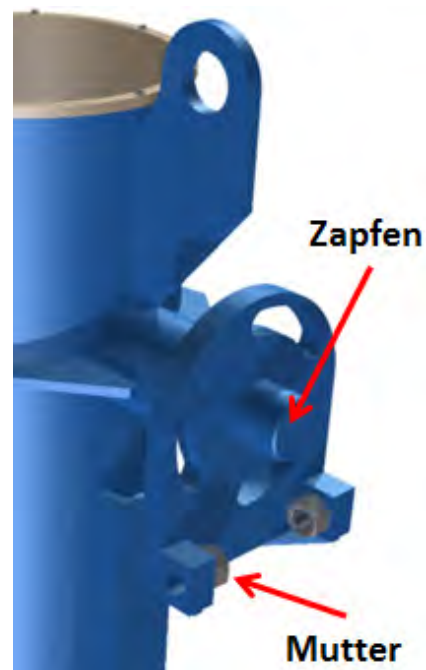


Abbildung 15: Flansch mit Verstellmöglichkeit

Die Führung selber besteht aus einem 1'000 mm langen Rohr mit Dicke 7.1 mm und Durchmesser 323.9 mm, welches über das Hauptführungsrohr gesteckt wird. Damit man aber keine Stahl – Stahl Reibung hat, werden in die Führung beidseitig Kunststoffbüchsen aus POM eingepresst und zusätzlich noch verschraubt (Abbildung 14). Dadurch erhält man einen viel besseren Reibungskoeffizienten und die Reibkraft, die überwunden werden muss, um die Turbine nach oben zu heben, wird dementsprechend auch verkleinert.

2.2.4 Montagehilfe

Um die Montage bzw. die Positionierung des Sockels im Wasser zu vereinfachen, gibt es eine Montagehilfe, welche an die Führungen der Turbine angeschraubt wird. Sie besteht aus Vierkantholprofilen mit den Dimensionen 60 mm x 60 mm x 2 mm. Die Gesamtbreite beträgt 1'711.5 mm, die Höhe 760 mm und die ungefähre Länge 3'800 mm.

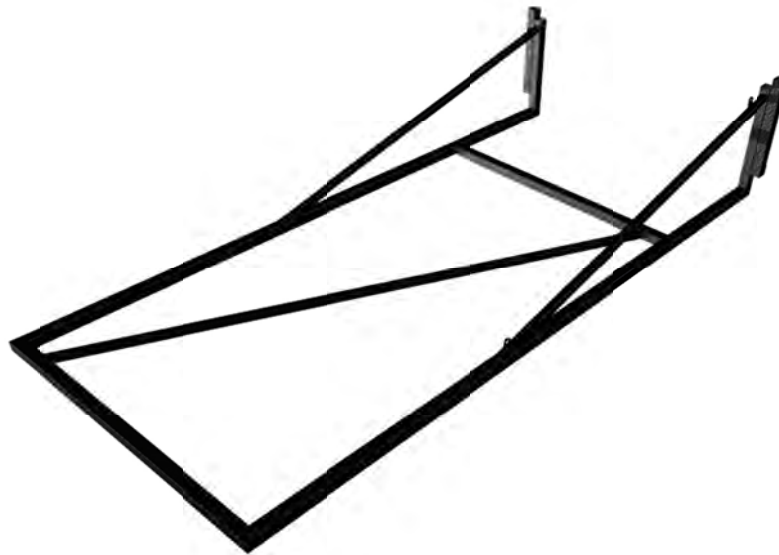


Abbildung 16: Montagehilfe

2.2.5 Ausrichtung der Turbine

Damit die Turbine ausgerichtet werden kann, benutzt man zwei Stahlseile, welche den Sockel mit den Seilbefestigungen am Rand des Kanals verbinden. Über Spannvorrichtungen, die sich bei den Seilbefestigungen befinden, können die Kabel etwas gespannt oder entspannt werden. Die Ausrichtung erfolgt aber primär solange die ganze Konstruktion noch vom Kran angehoben ist und nicht erst, wenn der Sockel bereits Kontakt mit dem Untergrund hat. Dadurch wirken bedeutend kleinere Kräfte auf die Kabel und die Ausrichtung ist auch um ein Vielfaches einfacher. Anschliessend dienen diese Seile dazu, die Konstruktion vor dem Wegdrücken durch die Wasserkraft zu sichern.

2.2.6 Befestigung der Gesamtkonstruktion

Wie bereits oben erwähnt, wird die Konstruktion mit Hilfe von zwei Stahlseilen gehalten. Zur Befestigung dieser Seile gibt es am Sockel beim Verbindungsrohr Ösen. Diese Ösen sind so konstruiert, dass die Kraft vom ganzen Rohr aufgenommen wird und nicht nur von einem Punkt. Die Seile können anschliessend mittels Schäkeln mit der Öse verbunden werden. Auf der anderen Seite werden am Kanalrand Löcher herausgehoben, in welche Pfosten eingesetzt werden. An diesen Pfosten kann anschliessend das Stahlseil bzw. der Seilspanner befestigt werden.

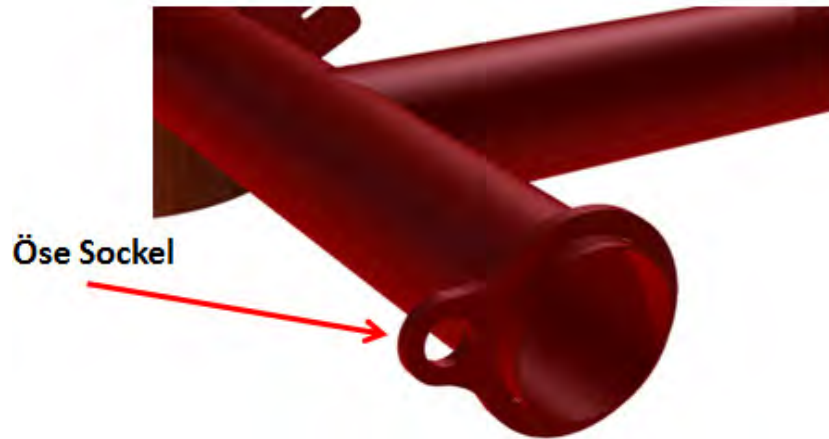


Abbildung 17: Öse Sockel mit Ringbefestigung

2.2.7 Arbeiten bei der Turbine (Podest)

Um ein sicheres Arbeiten an der Turbine zu gewährleisten, verfügt die ganze Konstruktion über ein grosses Podest (6'588 mm x 4'237 mm x 2'650 mm, welches sich auf gleicher Höhe wie die Brücke befindet. Die maximale Wasserhöhe beträgt ungefähr 5'200 mm. Mit einer Brückenhöhe von ungefähr zehn Metern bedeutet dies einen Abstand von um die fünf Metern von der Plattform bis zur Wasseroberfläche. Das Podest ist so angelegt, dass man um die ganze Turbine herumlaufen kann und zum Beispiel evtl. Schäden bzw. Beulen an der Aussenform, welche die Funktionsfähigkeit im Negativen beeinflussen können, sofort entdeckt werden könnten. Die Breite des Podestes beträgt in der Regel 1'015 mm. Die einzige Ausnahme bilden die zwei Stellen, an denen sich die Hauptführungen befinden. Dort verengt sich das Podest auf 665 mm. Die Lauffläche des Podestes wird über Gitterroste gewährleistet.

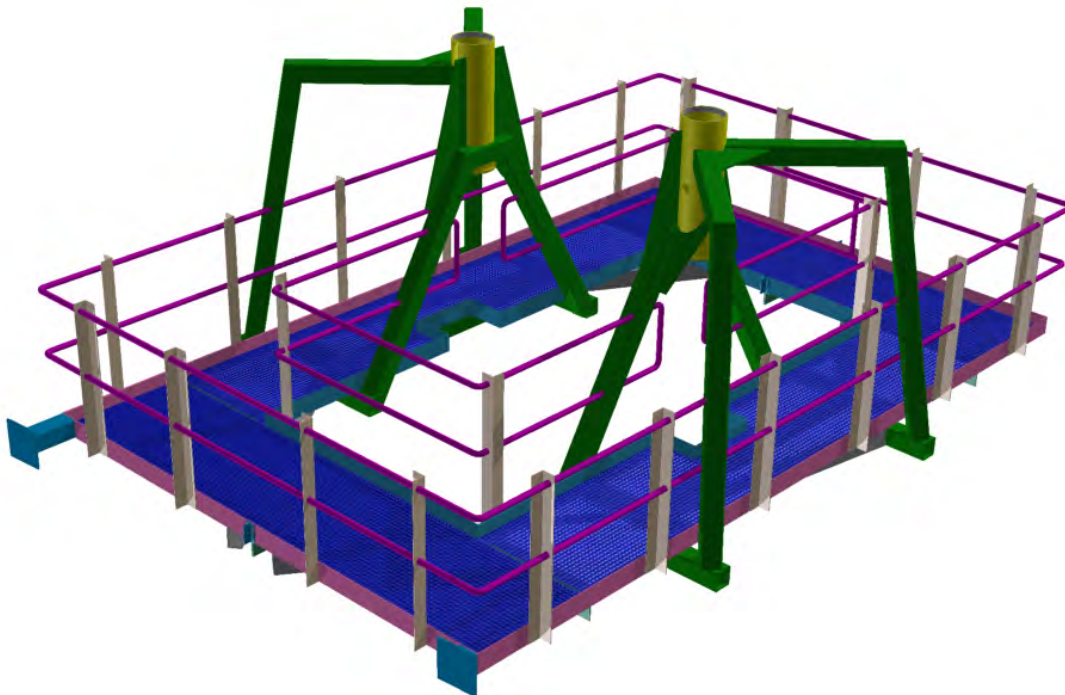


Abbildung 18: Podest mit Befestigung

Damit die Personen, die sich auf dem Podest befinden, nicht ins Wasser fallen können, verfügt es über ein Geländer, welches ebenfalls um das ganze Podest geführt wird. Die Höhe des Geländers beträgt 1'100 mm. Aus Sicherheitsgründen wurde auf der Innenseite ebenfalls ein Geländer montiert. Denn sobald die Turbine nicht mehr an ihrer Ruheposition oben ist, gibt es in der Mitte ein Loch. Zusätzlich gibt es um das Podest bzw. am Fusse des Geländers Fussleisten, damit keine Sachen aus Versehen ins Wasser fallen könnten (Werkzeuge etc.). Für die Dimensionierung hielt man sich an die SUVA-Richtlinien (Siehe Anhang 1). Auf der Abbildung 18 sieht man die Befestigung der Plattform. Dieses setzt sich aus einem Rahmen mit Vierkantholprofilen (grüne Bauteile) und einem Halterohr (gelbe Bauteile) zusammen. Zur zusätzlichen Versteifung der Plattform werden die Geländer an allen Verbindungspunkten mit den Stützen und der Schweisskonstruktion verschweisst. Die Plattform muss aus transportgründen mindestens zweigeteilt werden können. Die Verbindung wird jeweils über zwei Winkelprofile gewährleistet.

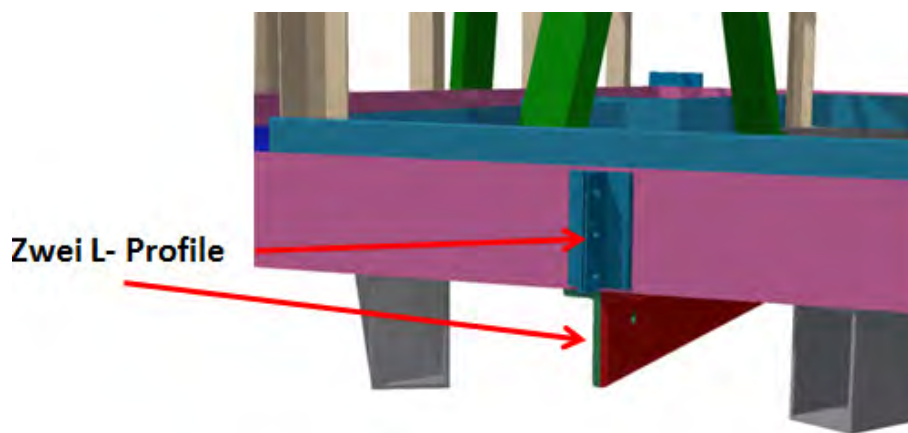


Abbildung 19: Verbindung Podest: Jeweils zwei verschraubte L-Profile

2.2.8 Hebemechanismus / Trägerbalken

Damit die Turbine ohne grossen Kraftaufwand aus dem Wasser gehoben werden kann, wird ein Stirnradflaschenzug (Abbildung 20) mit einem Oberhaken verwendet. Dieser bietet den Vorteil, dass man völlig autonom arbeiten kann und nicht auf eine Stromverbindung angewiesen ist. Zusätzlich kann man durch den Verzicht auf einen elektrischen Flaschenzug noch Geld sparen, da diese für grössere Massen, wie es bei der Turbine der Fall ist ($> 1'000\text{kg}$) um ein Vielfaches teurer wären. Der Kettenflaschenzug wird zur oberen Fixierung in die Öse des Hauptträgerbalkens (Abbildung 21) eingeklinkt. Im Anhang 2 sieht man eine mögliche Variante eines Stirnradflaschenzugs.



Abbildung 20: Beispielbild eines Stirnradflaschenzuges



Abbildung 21: Hauptträgerbalken mit Turbine und Stirnradflaschenzug

2.2.9 Stromverbindung / Stromtransport

Zur Stromverbindung mit einem örtlichen Stromnetz gibt es drei Hauptbestandteile. Der erste Bestandteil ist ein Elektroschrank, welcher sich auf dem Podest befindet. In diesem Schrank befindet sich die ganze Steuerung der Turbine, zudem wird über ihn der Strom weiter transportiert. Der zweite Bestandteil ist das Stromkabel, welches den Strom von der Plattform zu einer Trafostation bringt, wo der Strom in das Stromnetz eingespeist werden kann. Die Trafostation bildet den letzten Bestandteil des Stromtransportes.

2.2.10 Korrosionsschutz

Der Korrosionsschutz wird bei der Konstruktion vor allem durch die Materialwahl gewährleistet. Im Grunde genommen wird alles aus Stahl hergestellt, dabei wird in Kauf genommen, dass manche Teile zu korrodieren beginnen. Die einzige Ausnahme bilden dabei die Führungsrohre und die gesamte Turbine. Die Führungsrohre werden verzinkt, da sie als Führung für die Turbine dienen und dabei nicht korrodieren dürfen. Ansonsten könnte es sein, dass die Turbine aufgrund der Volumenausdehnung bei der Korrosion stecken bleiben könnte. Für die ganze Turbine sowie der Halterung an der Turbine wird als Material nichtrostender Stahl gewählt, da hier Korrosion die Funktionsfähigkeit der Turbine verhindern könnte. Zusätzlich wird die Turbine im Gegensatz zum Rest der Konstruktion wieder verwendet, dadurch ist bereits von Grund auf eine höhere Langlebigkeit gefragt.

2.3 Montage- und Demontagekonzept

Die gesamte Montage erfolgte über verschiedene Module. Das bedeutet, dass alles Schritt für Schritt montiert wurde und nicht alles in einem einzelnen Hub. Der Grund dafür ist vor allem das zu hohe Moment, das generiert würde. Denn Aufgrund der Platzverhältnisse auf der Brücke ist es nicht möglich, den Kran dort zu positionieren. Somit muss der Kran vor der Brücke bereits Position beziehen. Das bedeutet einen Weg bzw. Hebel, der etwas mehr als der Hälfte der Kanalbreite entspricht (circa 35m – 40m).

Bevor die eigentliche Montage beginnen kann, müssen die Halterung für die Seile auf beiden Seiten des Kanals eingetrieben bzw. platziert werden. Als erster richtiger Montageschritt wird der Sockel mittig auf der Strasse abgelegt (Abbildung 22).

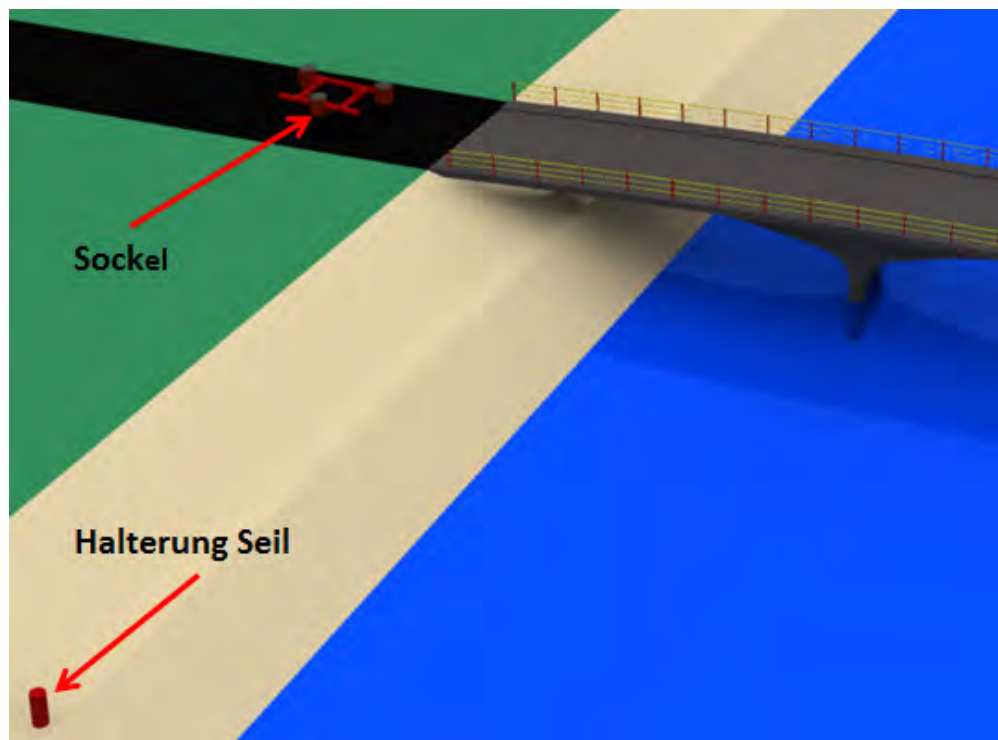


Abbildung 22: 1. Montageschritt: Positionierung des Sockels

Als nächster Schritt wird die Führung über das Führungsrohr gestossen und mittels Bolzen befestigt. Anschliessend wird die Montagehilfe zwischen die Führungen gelegt und ebenfalls befestigt. Zum Schluss dieses Montageschrittes wird das Führungsrohr angehoben und auf den Sockel aufgeschraubt. Dabei werden zur zusätzlichen Stabilisierung der Führungsrohre noch Stützen montiert (Abbildung 23).

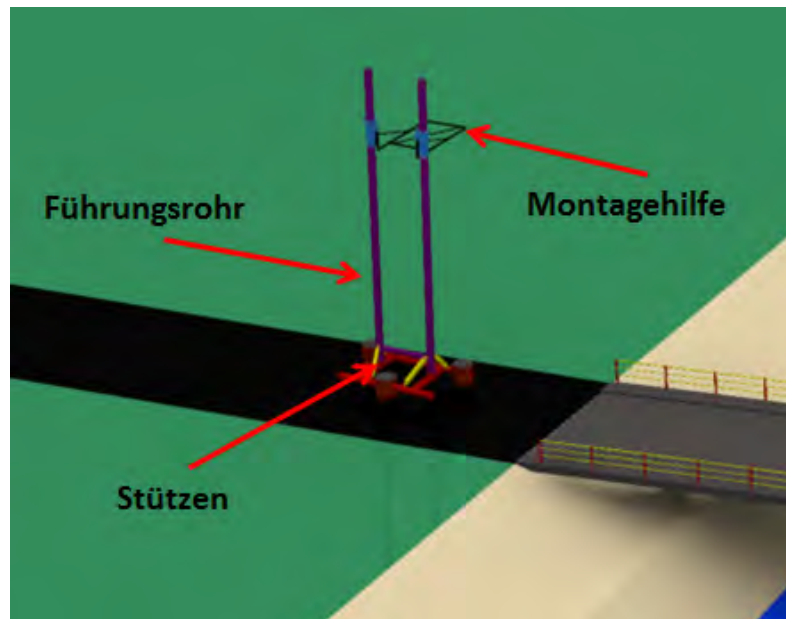


Abbildung 23: 2. Montageschritt: Befestigung Führungsröhr auf dem Sockel

Der nächste Montageschritt ist der heikelste, da dabei der Sockel zusammen mit dem bis zu diesem Zeitpunkt montierten Bauteilen in den Kanal gehoben wird. Als erstes werden dabei die Stahlseile mit dem Sockel verbunden. Diese Stahlseile werden dann zum jeweiligen Befestigungspunkt der Seile gezogen. Als nächstes hebt der Kran die gesamte Konstruktion an und bewegt sie langsam zur Mitte des Kanals. Gleichzeitig werden die Seile nachgezogen, damit die Konstruktion, sobald sie ins Wasser eintaucht, nicht durch die Wasserkraft gegen die Brücke gedrückt wird. Zusätzlich wird die Konstruktion mit Hilfe des Spannsens und Entspannsens des jeweiligen Seils ausgerichtet. Durch die Montagehilfe kann jetzt der Sockel im richtigen Abstand und Winkel zur Brücke platziert werden (Abbildung 24).

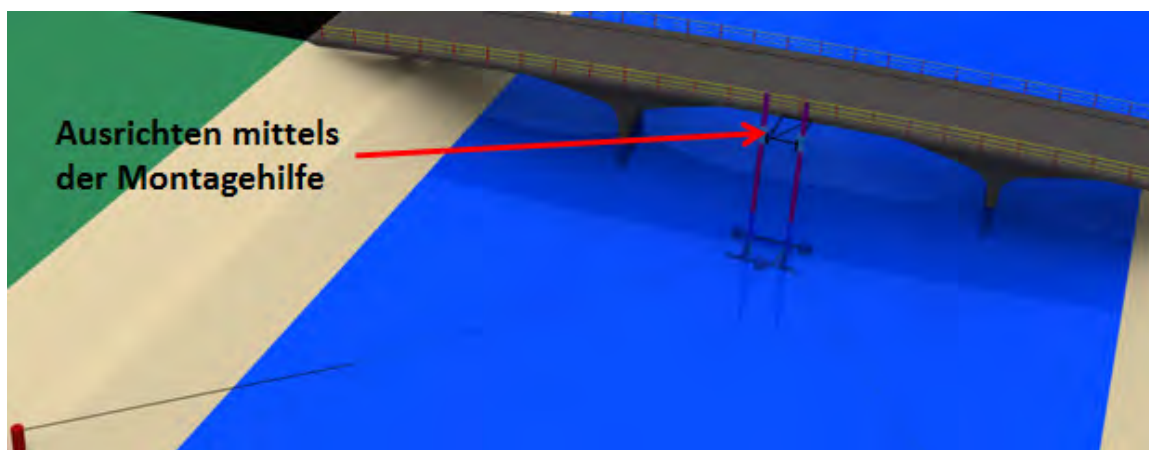


Abbildung 24: 3. Montageschritt: Positionieren des Sockels im Wasser

Sobald der Sockel im Wasser positioniert ist, wird als nächstes die Plattform montiert. (siehe Abbildung 25).

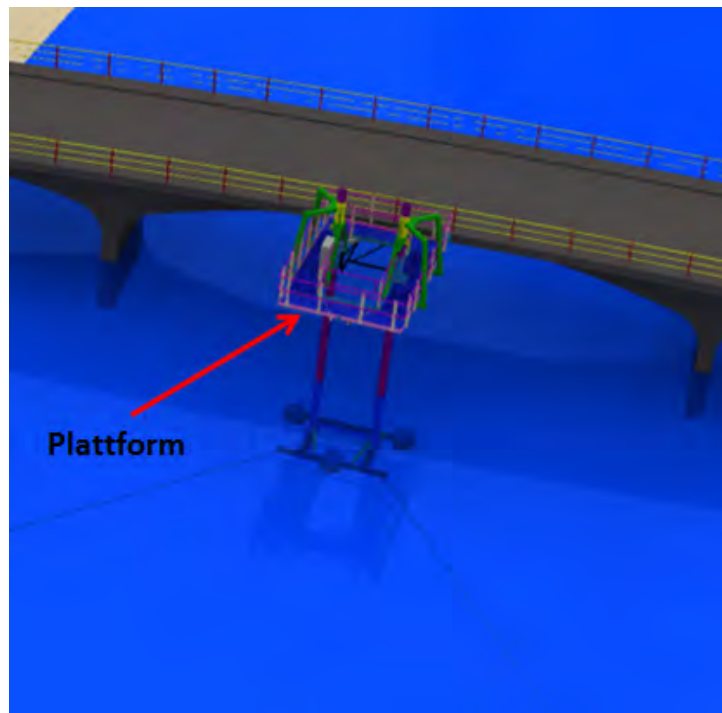


Abbildung 25: 4. Montageschritt: Hinzufügen der Plattform

Bevor nun die Turbine montiert werden kann, muss zunächst noch die Montagehilfe demontiert werden. Ansonsten könnte die Turbine gar nicht montiert werden, da die Montagehilfe an den Führungen der Turbine befestigt ist. Zudem würden Verstrebungen der Montagehilfe das Hinunterlassen der Turbine verunmöglichen. Sobald dies erledigt ist, wird die Turbine montiert (Abbildung 26). Während der Montage oder als Fixposition wird die Führung der Turbine mit Hilfe von je einem Bolzen pro Seite blockiert.

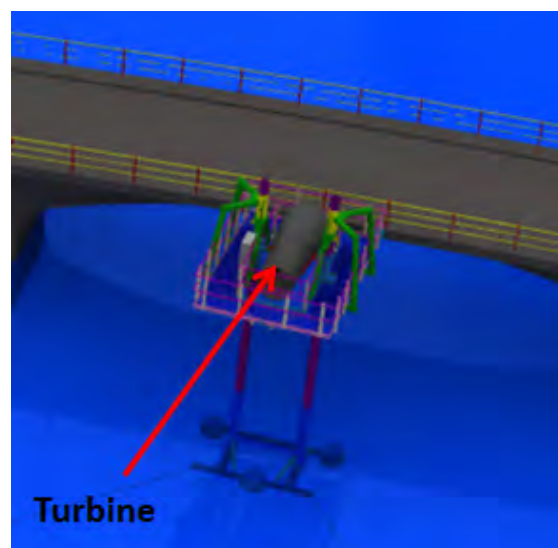


Abbildung 26: 5. Montageschritt: Befestigen der Turbine

Als letzter Schritt der Montage wird nun noch der Trägerbalken auf die Führungsrohre aufgesetzt.

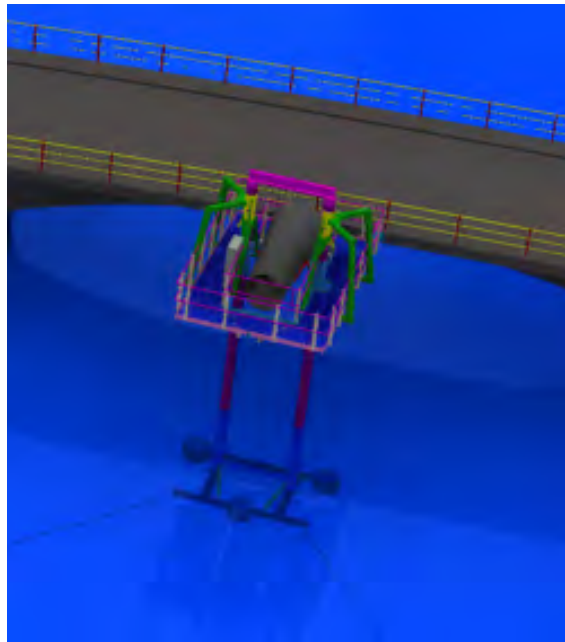


Abbildung 27: 6. Montageschritt: Aufsetzen des Trägerbalkens

Das einzige Teil, das jetzt noch fehlt, ist der Stirnradflaschenzug, damit die Turbine hinab und auch wieder hinauf gelassen werden kann. Der Flaschenzug wird auf der Oberseite in die Öse des Trägerbalkens eingeklinkt bei den Führungen gibt es ebenfalls

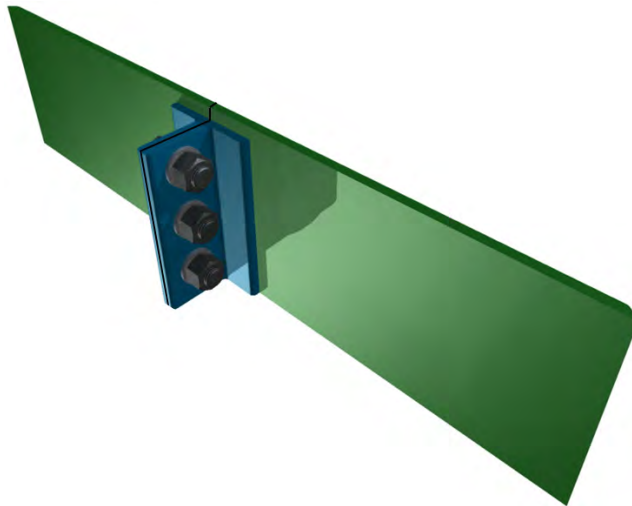
Die Demontage erfolgt genau in der umgekehrten Reihenfolge.

3 Analyse der Konstruktion

3.1 Dimensionierung

Bei Simulation ist es immer sehr wichtig, dass man über die Grössenordnung der jeweils simulierten Teile Bescheid weiss und entsprechend Fehler ausschliessen oder gegebenenfalls auch in Betracht ziehen kann.

Bei der ersten Simulation geht es darum, den Einfluss von Schraubverbindungen auf statische oder modale Analysen abschätzen zu können. Als Probeteil verwendete man zwei in der Mitte verschraubte Winkelprofile.



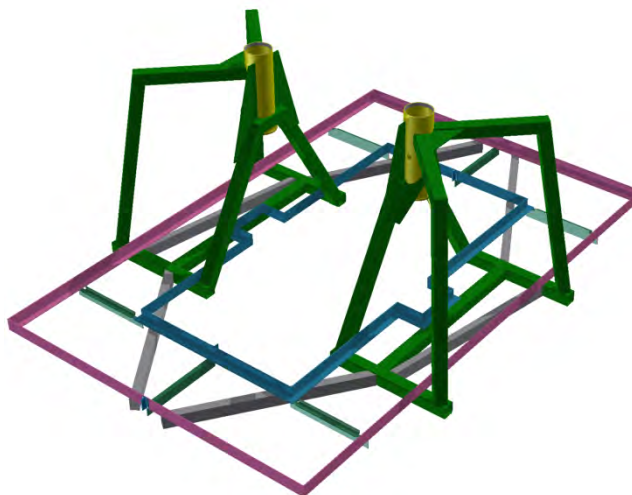
Dimensionen über alles:
150 mm x 75 mm x 600 mm

Grüne L-Profile:
150 mm x 75 mm x 11 mm
Länge: 300 mm

Blaue L-Profile:
60 mm x 40 mm x 7 mm
Länge: 140 mm

Abbildung 28: L-Profil, Schraubenanalyse

In einer zweiten Analyse wird die Plattform auf ihre statische sowie dynamische Festigkeit kontrolliert.



Dimensionen über alles:
6'588 mm x 4'237 mm x 2'650 mm

Blaue und pinke L-Profile:
150 mm x 75 mm x 11 mm

Grüne Vierkanthohlprofile:
150 mm x 150 mm x 10 mm

Graue Vierkanthohlprofile:
150 mm x 100 mm x 6 mm

Gelbe Halterohre:
Ø323.9 mm x 7.1 mm x 1'000 mm

Abbildung 29: Podest, Dimensionen Simulation

Zusätzlich wurde ein IPE-Profil mit Verbindungsrohren auf seine statische Festigkeit überprüft:



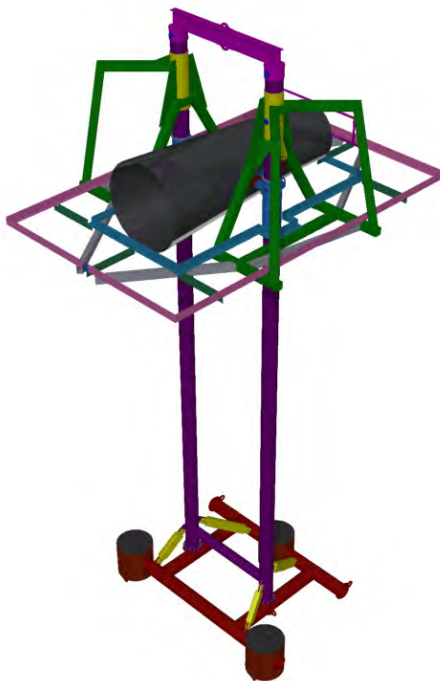
Dimensionen über alles:
2568 mm x 340 mm x 490 mm

IPE-Profil: 270 mm x 135 mm x 10.2 / 6.6 mm
Länge: 2'488 mm

Rohr: Ø323.9 mm x 7.1 mm
Länge: 20 mm

Abbildung 30: L-Profil, Schraubenanalyse

Im weiteren Verlauf wurde ebenfalls die Gesamtkonstruktion simuliert. Das Ziel war wiederum dasselbe, nämlich die dynamische und statische Festigkeit zu kontrollieren.



Dimensionen über alles:
6'588 mm x 4'237 mm x 13'029 mm

Violette Rohre:
Ø298.5mm x 7.1 mm x 11'862 mm

Dimensionen Sockel:
3'200 mm x 4'800 mm x 1'000 mm

Sockelrohre :
Ø298.5mm x 7.1 mm

Sockel Zylinder:
Ø800 mm x 800 mm

Abbildung 31: Gesamtkonstruktion, Dimensionen
Simulation

3.2 Werkstoffauswahl

Die richtige Materialauswahl für eine solche Befestigungs konstruktion ist von entscheidender Bedeutung, da mit der richtigen Materialwahl viele Probleme bereits im Vorfeld umgangen werden können. So hat zum Beispiel die Korrosionsbeständigkeit des Materials einen grossen Einfluss auf die Langlebigkeit des Produktes bzw. in diesem Fall auf die Turbine und die restliche Konstruktion. Je nachdem sollte das gewählte Material gut verformbar und schweisssbar sein, da zum Teil komplizierte Formen hergestellt werden müssen und dies vielfach mit Biegen erreicht werden sollte, da dies sehr ökonomisch ist und dies ist ein weiterer sehr wichtiger Punkt. In der Regel sollte jede Konstruktion so billig als möglich sein und dennoch alle Anforderungen problemlos erfüllen können. Weitere wichtige Entscheidungspunkte können je nach Anwendung auch elektrische und thermische Eigenschaften des Materials sein.

3.2.1 Zu erfüllenden Vorgaben

Für die Gesamtkonstruktion waren die wichtigsten zu erfüllenden Vorgaben:

- Nicht zu hoher Preis
- Material sollte sehr gut formbar sein
- Material sollte gut schweisssbar sein
- Das Gewicht sollte nicht allzu hoch sein
- Widerstand gegen Schläge $G_c > 1 \text{ kJm}^{-2}$

3.2.2 Auswahl

Mit Hilfe des Cambridge Engineering Selectors wurde nun nach Materialien gesucht, welche alle diese Eigenschaften erfüllen können. In einem ersten Schritt wurden die ganzen verschiedenen Materialien in einem Diagramm angezeigt (Diagramm 1).

Dabei wählte man das E- Modul als Y- Achse und die Dichte als X- Achse.

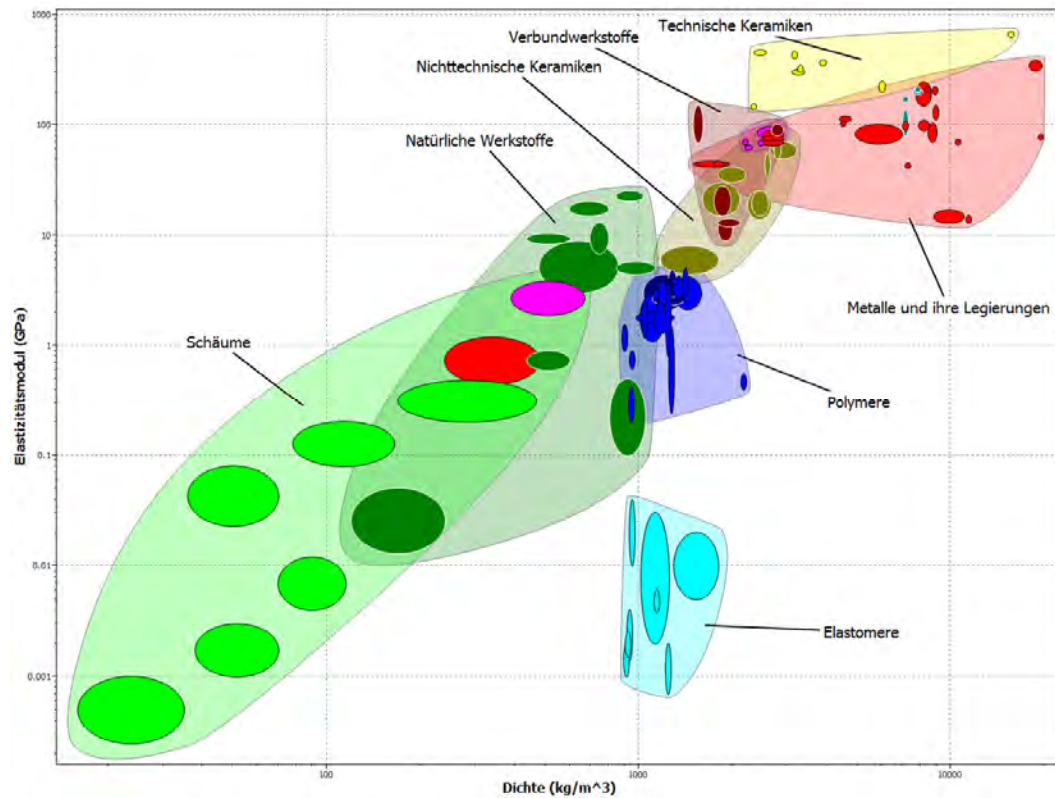


Diagramm 1: Alle Materialien, E- Modul in Funktion der Dichte

Als erster Filter wurde der Widerstand gegen Schläge angewendet. Dieser sollte im Regelfall für Stahlkonstruktionen oder andere mechanisch belastete Teile grösser als 1 kJm^{-2} sein (Diagramm 2).

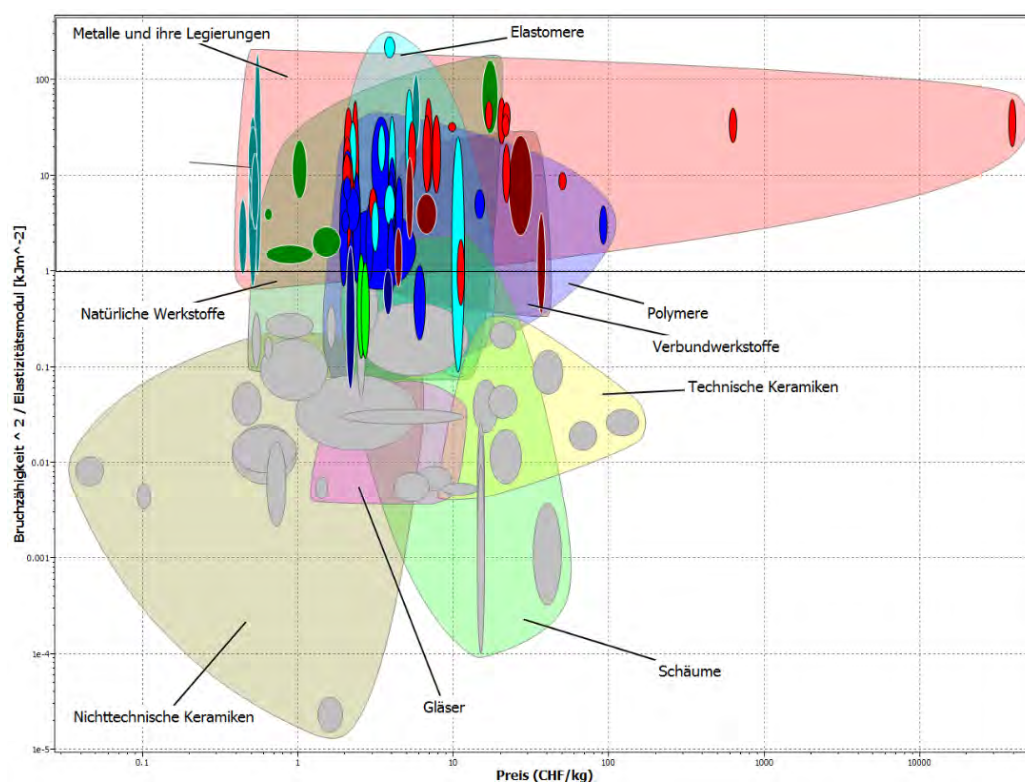


Diagramm 2: Filter Bruchzähigkeit $> 1 \text{ kJm}^{-2}$

Auf dem Diagramm 3 kann man nun alle Werkstoffe sehen, welche einen grösseren Widerstand gegen Schläge als 1 kJm^{-2} haben. Allgemein kann man sagen, dass tendenziell die spröden Werkstoffe ausgefiltert wurden. So kann man zum Beispiel gut erkennen, dass praktisch alle technischen Keramiken durch diesen Filtervorgang aussortiert worden sind und dass alle Elastomere weiterhin als mögliche Werkstoffe zur Auswahl stehen.

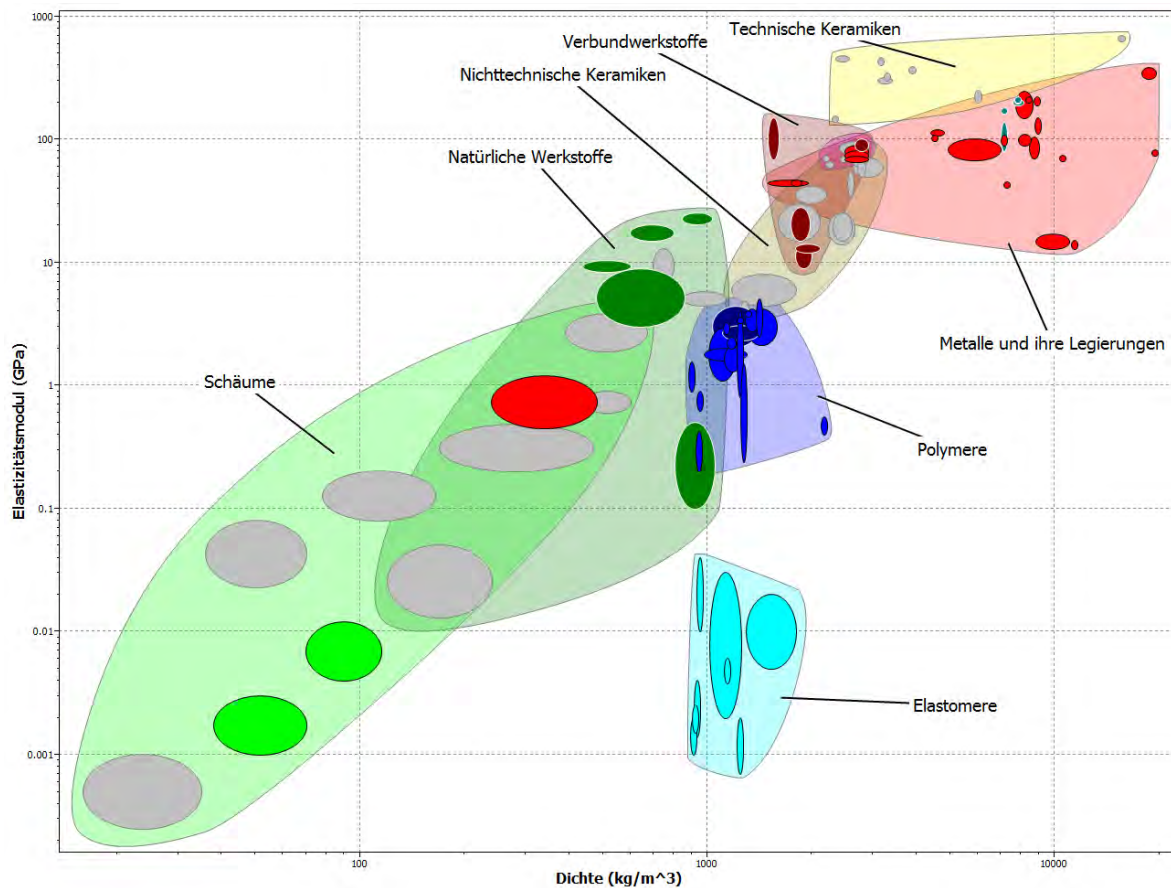


Diagramm 3: Alle Materialien mit $G_c > 1 \text{ kJm}^{-2}$

In einem nächsten Schritt werden nun die für die Konstruktion spezifischeren Eigenschaften herausgefiltert. Die wichtigsten Punkte für die Auswahl betreffen mehrheitlich die Verarbeitbarkeit des Werkstoffes. So ist es für die ganze Konstruktion sehr wichtig, dass der Werkstoff sehr gut bzw. sehr einfach in Form zu bringen ist. Des Weiteren sollte er im Allgemeinen gut bearbeitbar sein und natürlich auch gut schweisbar. Denn mittels Schweißen sind sehr billige und vor allem feste Verbindungen herzustellen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist natürlich der Preis, dieser sollte so tief wie möglich sein. Als letzter Punkt wird noch das Gewicht als Kriterium genommen, dieses sollte maximal in der Größenordnung von Stahl liegen, damit man am Ende eine Konstruktion hat, welche ohne grössere Umstände transportiert werden kann.

Im Folgenden wurden die Limiten für die vorhin aufgelisteten Eigenschaften im Cambridge Engineering Selector festgelegt (Abbildung 32). Hierbei gibt es zu erwähnen, dass für die Auswahl 0 dem Minimum und 5 dem Maximum entspricht.

Dichte, Preis, Umformbarkeit, Bearbeitbarkeit, Schweißbarkeit

Properties Apply Clear

Click on the headings to show/hide selection criteria

▼ **Allgemeine Eigenschaften**

	Minimum	Maximum	
Dichte		7800	kg/m ³
Preis		5.5	CHF/kg
Verwendung seit ("-" bedeutet v. Chr.)			

► **Mechanische Eigenschaften**

► **Thermische Eigenschaften**

► **Elektrische Eigenschaften**

► **Optische Eigenschaften**

▼ **Verarbeitbarkeit**

	Minimum	Maximum
Gießbarkeit		
Gießformbarkeit		
Umformbarkeit	3	5
Bearbeitbarkeit	3	5
Schweißbarkeit	5	5
Lötbarkeit, weich / hart		

► **Öko-Eigenschaften**

Abbildung 32: Festlegung der fixen Limiten

Für die maximale Dichte nahm man $7'800\text{kgm}^3$ an, damit sich das Gewicht maximal in der Größenordnung von Stahl befindet. Weiter nahm man für die Umformbarkeit und Bearbeitbarkeit ein Minimum von 3. Dadurch war man sicher, dass das Arbeiten mit Material nicht zu mühsam und zeitaufwendig wird. Das gleiche gilt für die Schweißbarkeit, wobei man hier wirklich nur Materialien in Betracht gezogen hat, welche eine ausgezeichnete Schweisseignung haben. Dadurch war man sicher, dass man die Materialien ohne spezielle Schweissgeräte schweißen kann. Dies spart wieder Kosten.

Auf der Abbildung 33 sieht man die Werkstoffe, welche nach der Anwendung der ganzen Filter noch übrig geblieben sind.

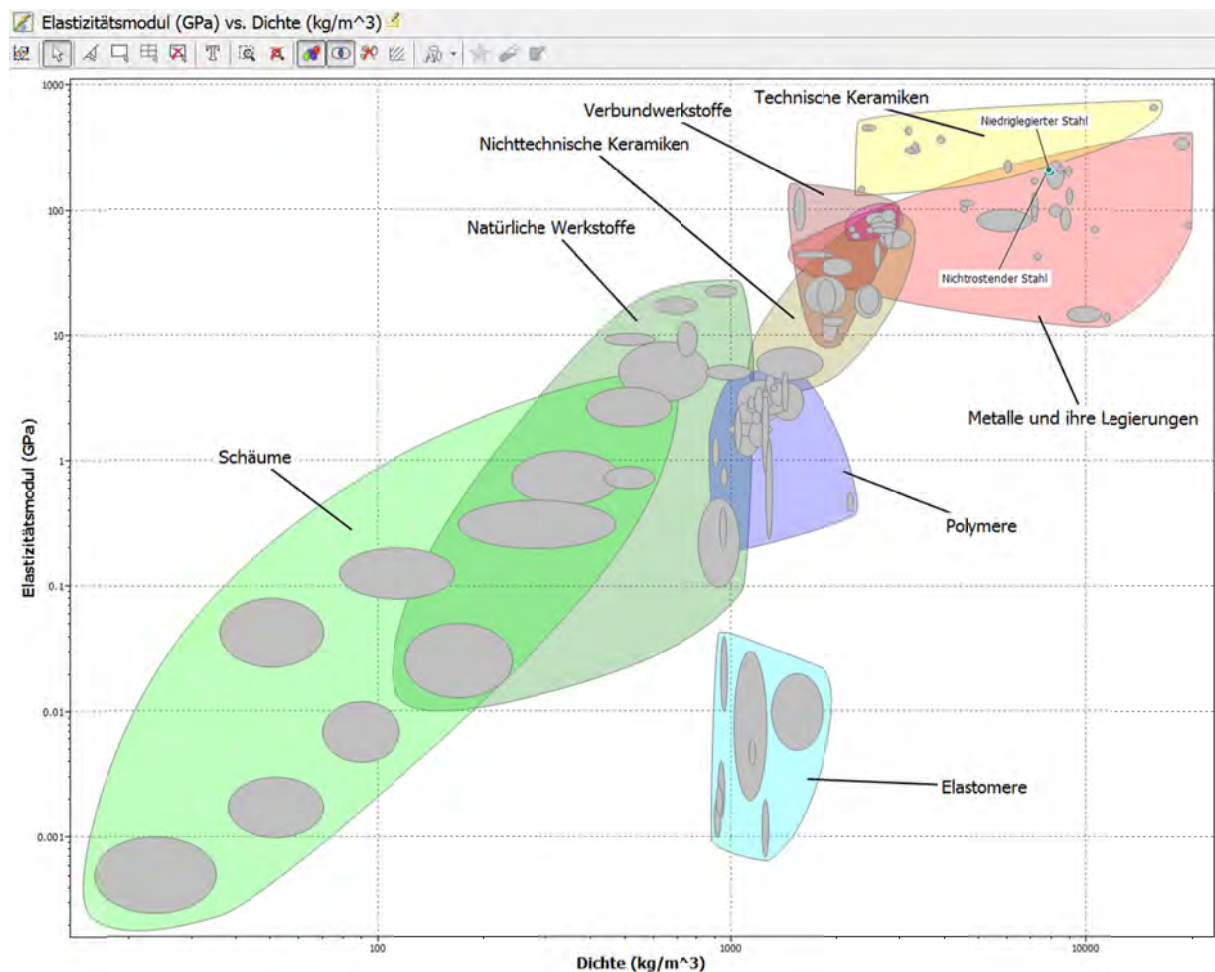


Abbildung 33: Material nach Ausschlusskriterium der Widerstand gegen Schläge

Die übrig gebliebenen Werkstoffe waren alles Metalle, im Besonderen Stähle. Zum einen normaler, niedriglegierter Stahl mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten und andererseits nichtrostender Stahl. Diese Auswahl ist im Allgemeinen zufriedenstellend, da man so Materialien hat, welche zum einen dazu dienen die Grundkonstruktion herzustellen. Bei dieser spielt es nicht eine allzu grosse Rolle, wenn sich dort Flächenkorrosion bildet, da die Konstruktion nur für einen Zeitraum von ungefähr sechs Monaten im Wasser sein wird. Für Teile, welche nicht rosten dürfen, sei es aufgrund einer längeren Einsatzdauer, wie es bei der Turbine selber der Fall ist, kann man nichtrostenden Stahl als Werkstoff verwenden.

3.3 Analyse des Einflusses von Schraubverbindungen

Da die Plattform zu gross ist, um in einem einzigen Teil transportiert zu werden, muss sie in mindestens zwei Teile halbiert werden können. Die Fixierung der zwei Teile der Plattform gegeneinander wird unter anderem über Schraubverbindungen gewährleistet. Damit man besser abwägen konnte, welchen Einfluss die Schraubverbindungen auf die statische und dynamische Festigkeit haben (Dämpfung, Steifigkeit), wurden einzelne Simulationen erstellt. Die Simulation wurde aber nur für ein vereinfachtes Probewerkstück durchgeführt, damit man die Simulationszeiten so gering wie möglich halten konnte. Als Probezusammenbau wurden zwei Winkel genommen, welche miteinander verschraubt werden (Abbildung 34).

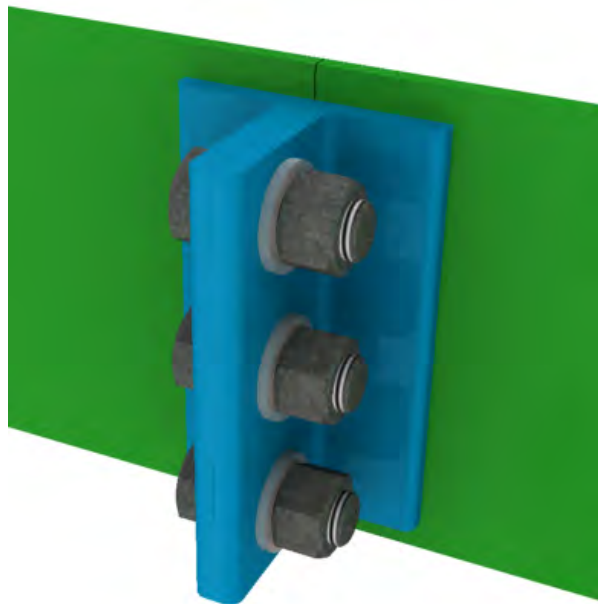


Abbildung 34: Winkelprofile, welche miteinander verschraubt sind

Da es im Inventor nicht möglich ist Schrauben bzw. ihre Auswirkungen 1:1 zu simulieren, musste man etwas finden, dass die Einflüsse, welche die Schraube auf die Konstruktion ausübt, so gut wie möglich widerspiegelt. Bei Inventor - Simulationen besteht das Problem darin, dass zwei Flächen, welche aufeinander liegen, als fest verbunden bzw. verschweisst betrachtet werden. Das heisst die gesamte rote Fläche, wie es auf Abbildung 36 dargestellt ist, wird als fest verbunden angenommen. Dies führt dazu, dass die Konstruktion in der Simulation von Inventor als etwas steifer betrachtet wird, als sie in Wirklichkeit ist. Um diesen Umstand so gut wie möglich zu umgehen, wurden die Winkel ein wenig angepasst. Das bedeutet in diesem Fall, dass um die Bohrungen herum kleine Podeste in der Höhe von einem Hundertstel Millimeter extrudiert wurden (Abbildung 35). Als Durchmesser der Podeste wurde in einem ersten Ansatz der Unterlegscheibendurchmesser gewählt.

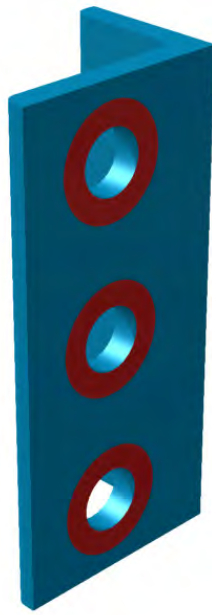


Abbildung 35: Abgeänderter Winkel

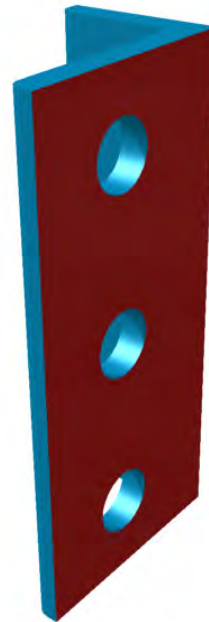


Abbildung 36: Standardeinstellung mit Inventor

Im Folgenden kann man nun als Kontaktpunkte nur die kleinen Extrusionen nehmen. Dadurch ist es möglich, die Schraube bzw. die Schraubverbindungen um einiges realistischer zu simulieren.

3.3.1 Netzanalyse

Zu Beginn einer Simulation muss ein Netz gewählt werden, welches die Simulation nicht zu stark beeinflusst. Das heisst, die Netzgrösse bzw. die Knoten- und Elementdichte müssen so gross oder klein sein, dass die Ergebnisse nicht aufgrund von den Netzeinstellungen variieren. Für diese Untersuchung wurde eine Modalanalyse der Schraubverbindung durchgeführt. Fixierungspunkte sind die äusseren Kanten in Schraubenrichtung. Als Verbindungstyp nahm man die Standardeinstellung von Inventor, siehe Abbildung 37.

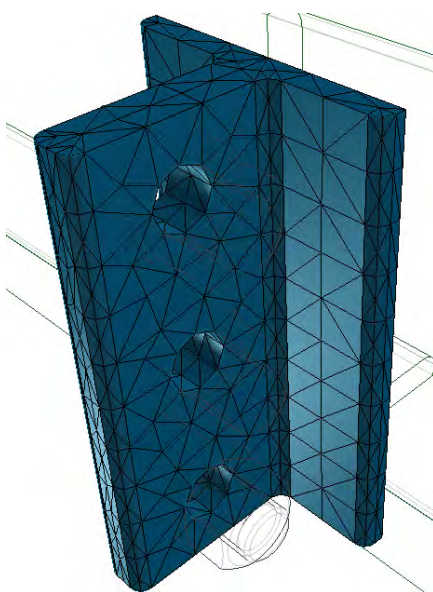


Abbildung 37: Grundeinstellung Inventor

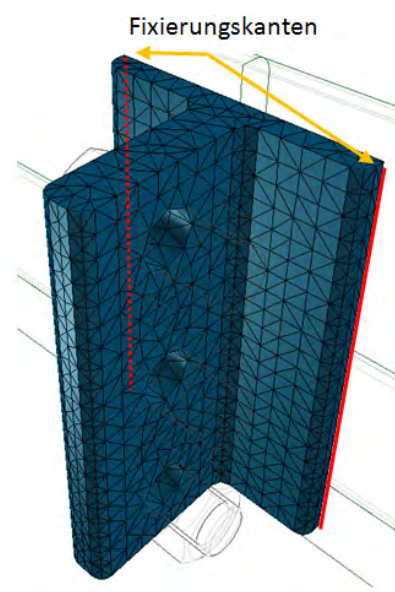


Abbildung 38: Feines Netz

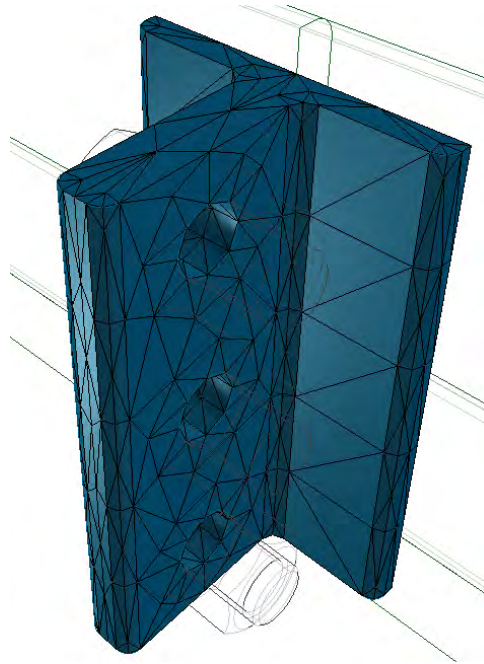


Abbildung 39: Grobes Netz

Auf den drei vorhergehenden Bildern Abbildung 37, Abbildung 38 und Abbildung 39 sieht man die unterschiedlichen Netze. Inventor bietet einem nur die Möglichkeit, einen Faktor für die durchschnittliche Elementgrösse anzugeben. Das bedeutet, Inventor nimmt die virtuelle Grösse des entsprechenden Werkstücks und setzt dies als massgebende Länge für das Netz bzw. die Elementgrösse in diesem Bereich fest. Die minimale Elementgrösse ist dann entsprechend ein Faktor, der durchschnittlichen Elementgrösse. Schlussendlich können mit Hilfe dieser Netze die Eigenfrequenzen bestimmt werden.

#		Grundeinstellung	Fehler	Feines Netz	Fehler	Grobes Netz	Fehler
	Faktor Durchschnittliche Elementgrösse	0.1		0.05		0.2	
	Faktor minimale Elementgrösse	0.2		0.2		0.2	
	Knoten	4'828		17'677		2'397	
	Elemente	2'358		9'998		1'095	
		Hz	%	Hz	%	Hz	%
Mode	1	2'312	Referenz	2'249	-2.7	2'473	7.0
	2	2'331		2'250	-3.5	2'588	11.0
	3	2'704		2'596	-4.0	3'017	11.6
	4	3'890		3'821	-1.8	4'066	4.5
	5	7'330		7'251	-1.1	7'504	2.4
	6	8'959		8'738	-2.5	9'232	3.0

Tabelle 3: Werte der Eigenfrequenzen für verschiedene Netze

Bei der ersten Eigenfrequenz, welche für uns von Bedeutung ist, handelt es sich um Biegung. (siehe Abbildung 40)

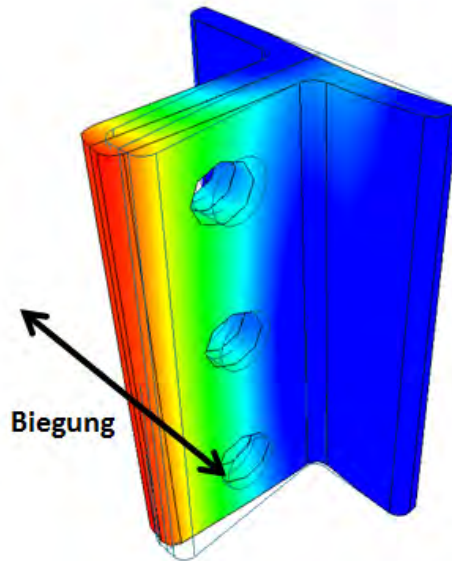


Abbildung 40: Bewegungsrichtung der 1. Eigenfrequenz

Aus der Tabelle 3 ist es zum Teil recht schwierig zu erkennen, wie gross die Änderungen bzw. die Unterschiede zwischen den einzelnen Netzen sind. Aus diesem Grund wurde noch eine Graphik erstellt, in dem man den Verlauf der Eigenfrequenzen der einzelnen Netze in Funktion der Eigenschwingung (Mode) sehen kann (Diagramm 4).

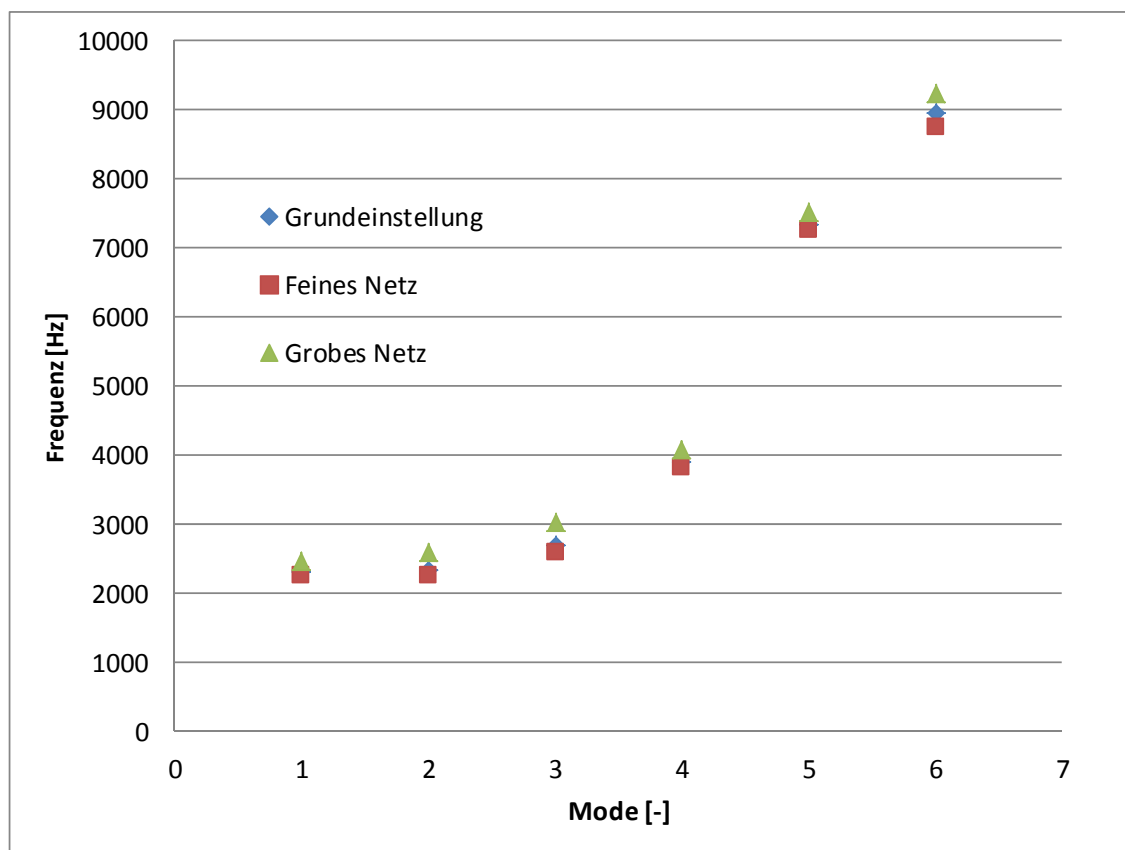


Diagramm 4: Frequenzverlauf unterschiedlicher Netze in Funktion der Eigenschwingungen

Auf dem Diagramm 4 ist nun gut und deutlich zu erkennen, dass die Elementgrößen auf die jeweiligen Frequenzen keinen allzu grossen Einfluss haben. Die Tendenz des Verlaufs ist nämlich bei allen drei Netzen sehr ähnlich. Was man bei genauerer Betrachtung trotzdem sagen kann, ist, dass das feine Netz sowie die Grundeinstellung etwas genauer übereinstimmen. Für die Simulationen entschloss man sich schlussendlich mit einer Netzgrösse von 0.1 bzw. der Grundeinstellung zu arbeiten. Als Probewerkstücke werden, wie bereits oben erwähnt, zwei Winkel genommen, welche mit dem L-Profil fix verschweisst sind und untereinander verschraubt sind (siehe Abbildung 41).

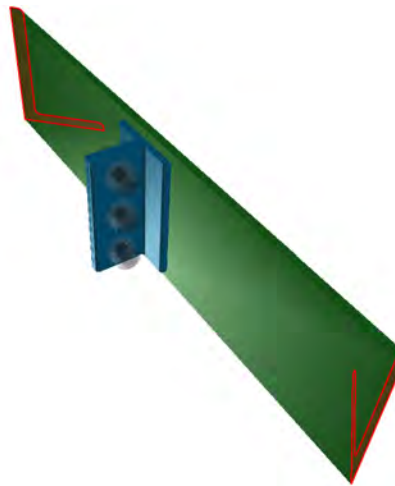


Abbildung 41: Probewerkstück (Flächen in rot sind fixiert)

3.3.2 Modalanalyse

Bei der Modalanalyse müssen keine externen Belastungen hinzugefügt werden, damit man Werte erhält, welche nachvollziehbar sind.

Die Werte die man erhält sind die folgenden:

#		Verbindung Normal	Fehler	Verbindung Schraubenähnlich	Fehler
Faktor Durchschnittliche Elementgrösse		0.1		0.1	
Faktor minimale Elementgrösse		0.2		0.2	
Knoten		11'035		10'072	
Elemente		5'351		4'724	
		Hz	%	Hz	%
Mode	1	311	Referenz	308	-0.9
	2	838		816	-2.6
	3	1'051		890	-15.4
	4	1'250		1'273	1.9
	5	1'401		1'304	-6.9
	6	1'743		1'652	-5.2

Tabelle 4: Auswertung Eigenfrequenzen für die unterschiedlichen Verbindungsarten

Um die Auswertung zu vereinfachen, wurde wiederum ein Diagramm erstellt.

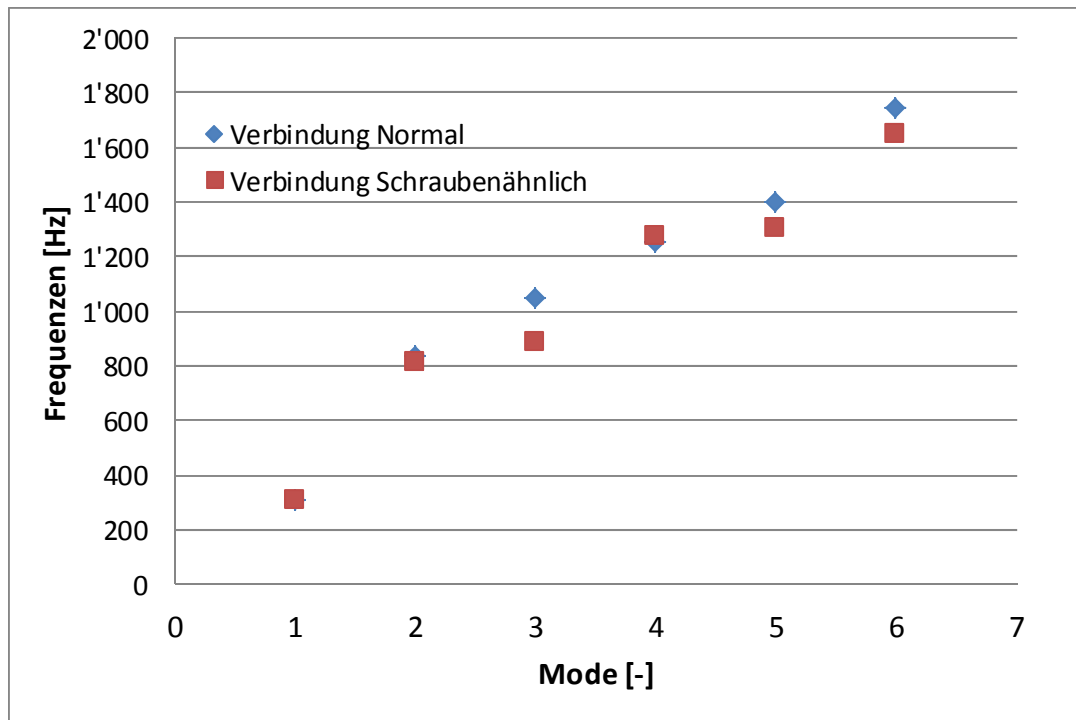


Diagramm 5: Verhalten der Frequenzen bei unterschiedlichen Verbindungsarten

Auf dem Diagramm 5 sieht man, dass man auf den ersten Blick keinen grossen Unterschied zwischen der Standardverbindung von Inventor und der schraubenähnlichen feststellen kann. Einzig bei der dritten Eigenfrequenz sieht man einen grösseren Unterschied (ca. 160 Hz). Auf den ersten Blick, gab es keine wirklich plausible Erklärung, weshalb gerade bei der 3. Eigenfrequenz ein Unterschied bestand und bei den anderen nicht. Im Folgenden wurden die Simulationen genauer angeschaut, dabei entdeckte man einen Unterschied bei der Verschiebung.

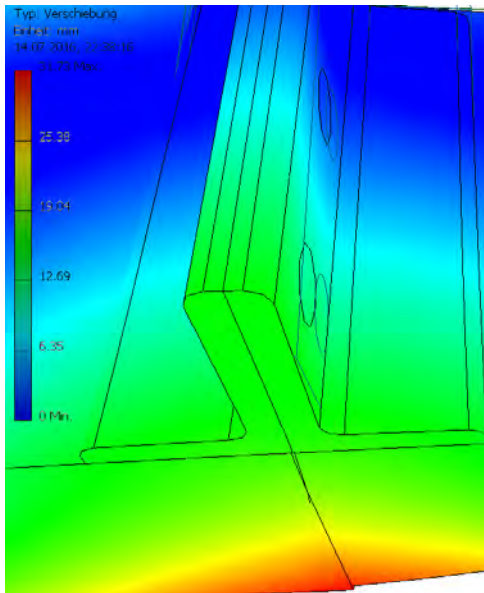


Abbildung 42: 3. Eigenfrequenz mit normaler Verbindung

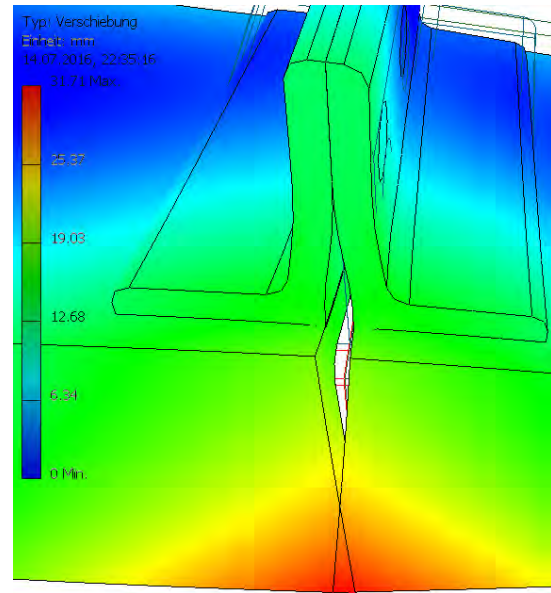


Abbildung 43: 3. Eigenfrequenz mit schraubenähnlicher Verbindung

Auf der Abbildung 42 und Abbildung 43 sieht man schon von bloßem Auge den Unterschied zwischen den beiden Probeteilen. Bei der 3. Eigenfrequenz gibt es eine Schwingbewegung in Richtung äussere Winkelkante, dabei bleiben bei der normalen Verbindung die beiden Bauteile ganzflächig aneinander kleben. Bei der schraubenähnlichen Verbindung gibt es nur in der Gegend der Schrauben fixe Verbindungspunkte dadurch ist es möglich, dass sich die beiden Winkel aufgrund der grossen Schwingungskräfte beim Kontaktfläche etwas bewegen können.

Der Einfluss ist aber über alle Frequenzen gesehen klein, dadurch ist es nicht nötig die ganze Konstruktion für die Simulationen anzupassen

3.3.3 Statische Analyse

Bei der statischen Analyse wurde zusätzlich eine Kraft hinzugefügt, damit man eine Verformung und somit Spannungen hervorrufen konnte, welche man vergleichen konnte. Die Kraft betrug pro Winkel jeweils 2'000N.

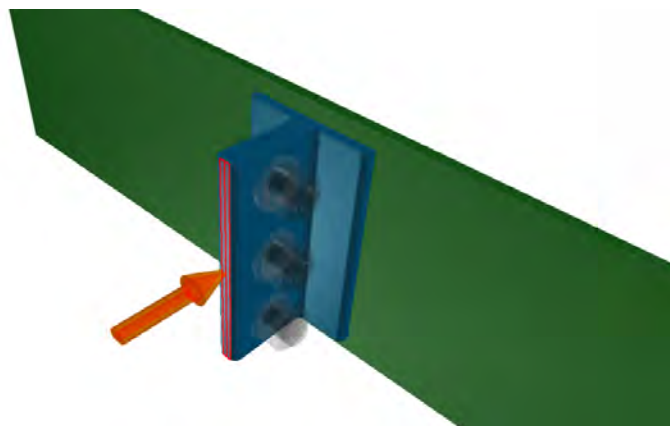


Abbildung 44: Richtung der Krafteinwirkung auf die beiden Seitenflächen der Winkel

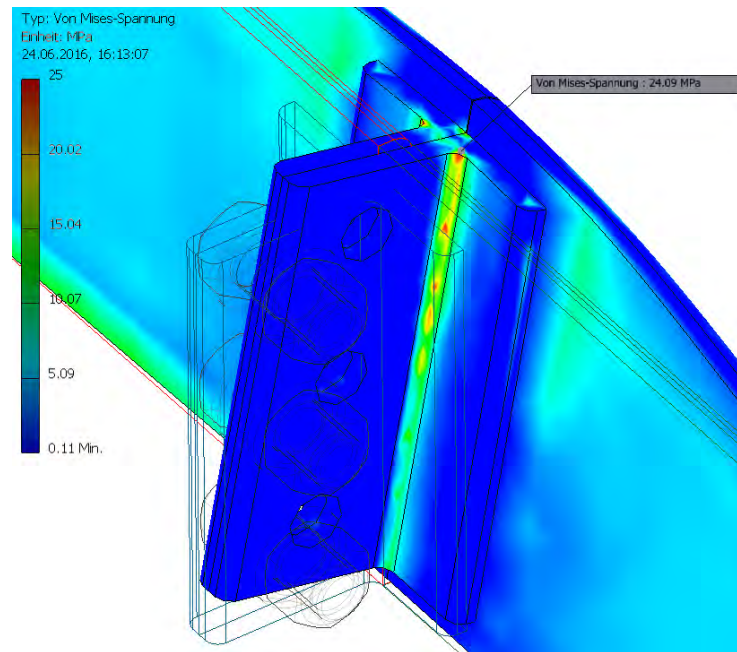


Abbildung 45: Spannungen bei normaler Inventor - Verbindung

Zur Analyse wurden die beiden Spannungen am exakt gleichen Ort miteinander verglichen.

Bei der Verbindung, wie sie vom Inventor automatisch erstellt wird (Abbildung 45) sieht man, dass die maximale Spannung in der Ecke bei 24.09 MPa liegt. Die Spannung ist an diesem Punkt am höchsten, da sich in diesem Bereich die L-Profile am meisten verformen können. Die Spannung bei der schraubenähnlichen Verbindung (Abbildung 46) liegt im Gegensatz bei nur 14.71 MPa.

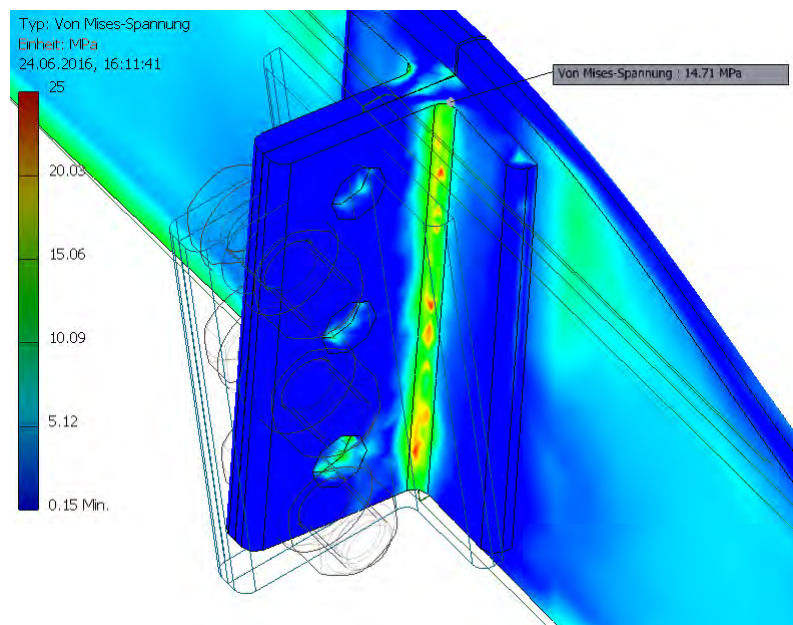


Abbildung 46: Spannungen bei schraubenähnlicher Verbindung

Der Grund dafür ist, dass sich bei der schraubenähnlichen Verbindung die Verbindungswinkel selber auch noch verformen können, dadurch können die Spannungen etwas vermindert werden.

Grundsätzlich kann man aber sagen, dass der Unterschied im statischen Bereich etwas grösser ist. Dennoch braucht es keine speziellen Anpassungen, denn die Differenz liegt im Bereich, welcher bei einer normalen Konstruktion vom Sicherheitsfaktors getragen werden kann.

3.4 Schwingungen Einleitung

Schwingungen können bei jeder Art von Konstruktionen auftreten und können je nachdem auch einen grossen Einfluss auf die Stabilität sowie die Ermüdungssicherheit der einzelnen Bauteile haben. Die Stärke und die zerstörerische Kraft von Schwingungen wurde uns im Jahr 1940 unfreiwillig, aber eindrücklich durch den Einsturz der Tacoma Narrows Bridge vor Augen geführt. Die Windstärke lag bei ungefähr 68 km/h, was eigentlich nicht zu hoch ist für Brücken. Das Problem lag hier aber darin, dass die Windgeschwindigkeit exakt so hoch war, dass sie die Brücke in Resonanzschwingungen versetzte. Dabei schaukelte sich die Brücke so stark auf, bis die Tragseile der Hängebrücke den Spannungen nicht mehr standhielten und zerbarsten. Um diese Probleme schon im vornherein zu umgehen, wurden verschiedene Simulationen durchgeführt. Damit diese aber Sinn machen, musste man die Frequenzen kennen, welche man vermeiden muss.



Abbildung 47: Die Brücke Tacoma Narrows stürzte am 7. November 1940 aufgrund von Resonanzschwingungen ein

3.4.1 Grenzwert für Eigenschwingungen / Anregung durch Personen

Die Suche nach Werten für Eigenfrequenzen, an welchen man sich orientieren konnte, gestaltete sich als nicht so einfach. Bei der Stahlkonstruktion war das Problem, dass es sich bei dieser Konstruktion um eine Spezialanfertigung handelte und dementsprechend gab es auch keine Richtlinie, an der man sich diesbezüglich richten konnte. Aus diesem Grund suchte man nach ähnlichen Konstruktionen, zu welchen aber Richtlinien bzw. Richtwerte existieren. Nach einer ausgiebigen Suche entschied man, dass man sich an Fussgängerbrücken bzw. Passerellen orientieren würde. Diese haben zum Teil sehr ähnliche Eigenschaften wie die Konstruktion zur Befestigung der Turbine. Einerseits sind sie relativ schwer, was zu tiefen Eigenfrequenzen führt und andererseits gibt es Personen, welche sich auf ihr

bewegen. Dies stellt für die Konstruktion unserer Meinung nach die grösste Gefahr dar, wie man in solche Resonanzfälle gelangen könnte.

Die genaue Norm, auf welche man sich Bezog, war die Norm des schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein SIA 260 „Grundlagen der Projektierung von Tragwerken“. In der Norm findet man im Anhang C die Tabelle 10 mit den Richtwerten für Fussgängerbrücken. [2]

Grenzzustand	Eigenfrequenz [Hz]
Komfort	
– vertikale Schwingungen	$> 4,5$ bzw. $< 1,6$
– horizontale Schwingungen (quer)	$> 1,3$
– horizontale Schwingungen (längs)	$> 2,5$
Eigenfrequenzen abweichend von den angegebenen Richtwerten sind zugelassen, wenn eine genauere dynamische Berechnung unter Berücksichtigung der Dämpfung durchgeführt wird.	

Tabelle 5: Richtwerte der zu vermeidenden Eigenfrequenzen von Fussgängerbrücken

Wie man in der Tabelle 5 sieht, befinden sich die Eigenfrequenzen, die man vermeiden sollte, um die 1.5 - 2.5 Hz, dies ist die Frequenz, die ungefähr einem normal laufenden Fussgänger entspricht. Aufgrund von diesen Werten musste die Stahlkonstruktion der Turbinenbefestigung so konstruiert werden, dass man eine höher gelegene Eigenfrequenz hat.

3.4.2 Anregung durch Karmansche Wirbel im Wasser

Eine andere Möglichkeit, wie die ganze Konstruktion in Schwingung versetzen werden könnte, findet man in einer Theorie von Theodore von Karman, nämlich in der Karmanschen Wirbelstrassen - Theorie. Diese Theorie besagt unter anderem, dass ein Zylinder, welcher von einem Fluid umströmt wird und sich dabei die Reynolds - Zahlen zwischen vier und vierzig befinden, dass sich in diesem Fall im Totwassergebiet zwei stationäre Wirbel bilden, die einen unterschiedlichen Drehsinn haben. Steigt nun die Reynolds- Zahl weiter an, so lösen sich die Wirbel von dem Zylinder. Dies geschieht aber auf der Unter- und Oberseite nicht synchron, sondern immer abwechselnd unten und oben. Aufgrund von diesem Ablösen und wieder bilden der Wirbel entstehen periodische Kräfte, welche den ganzen Zylinder in Schwingung versetzen können. Entspricht diese Frequenz nun der Eigenfrequenz des Zylinders so entsteht wieder ein Resonanzfall. [3]

Um sicherzugehen, dass man sich bei der Konstruktion zur Turbinenbefestigung nicht genau in einem solch problematischen Resonanzfall befindet, muss man die Wirbelablösefrequenz kennen.

Der einzige Ort, an dem dieses Phänomen auftreten könnte, wäre bei den Führungsrohren, da diese die längsten Werkstücke sind, die vom Wasser umströmt werden. Im Folgenden wird nun die Wirbelablösefrequenz berechnet. Die Frequenz hängt von drei Hauptfaktoren ab. Die erste Einflussgrösse bildet die Strouhal – Zahl, dabei handelt es sich um eine dimensionslose Kennzahl. Die zwei anderen Einflussgrössen sind zum einen die Fliessgeschwindigkeit des Fluids und andererseits die Grösse des umströmten Körpers. In den meisten Fällen wird der Durchmesser genommen.

Die Formel lautet wie folgt:

$$f = \frac{Sr * c}{d} \quad (1)$$

f_{Waf} = Wirbelablösefrequenz [Hz]

Sr = Strouhal – Zahl [-]

c = Fließgeschwindigkeit Fluid [ms^{-1}]

d = Durchmesser Zylinder [m]

Die Strouhal – Zahl wird nicht berechnet, sondern kann von einem Diagramm entnommen werden, wo die Strouhal – Zahl in Funktion der Reynolds – Zahl angegeben ist. Die Reynolds – Zahl ist wiederum eine dimensionslose Kennzahl, welche das Verhältnis zwischen den Trägheits- und den Reibungskräften von Fluidteilchen widerspiegelt. Die Reynolds – Zahl ihrerseits kann wie folgt berechnet werden.

$$Re = \frac{c * d}{\nu} \quad (2)$$

Re = Reynolds – Zahl [-]

c = Fließgeschwindigkeit Fluid [ms^{-1}]

d = Durchmesser Zylinder [m]

ν = Kinematische Viskosität [m^2s^{-1}]

Die numerischen Werte mit denen gerechnet wird, sind die folgenden:

$c = 2.1 \text{ ms}^{-1}$, $d = 0.2985\text{m}$, $\nu = 1 * 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$

$$Re = \frac{2.1\text{ms}^{-1} * 0.2985\text{m}}{1 * 10^{-6}\text{m}^2\text{s}^{-1}}$$

$$Re = 626'850$$

Mit Hilfe des nachstehenden Diagramms (

Diagramm 6) kann nun mittels der berechneten Reynolds – Zahl die Strouhal – Zahl bestimmt werden.

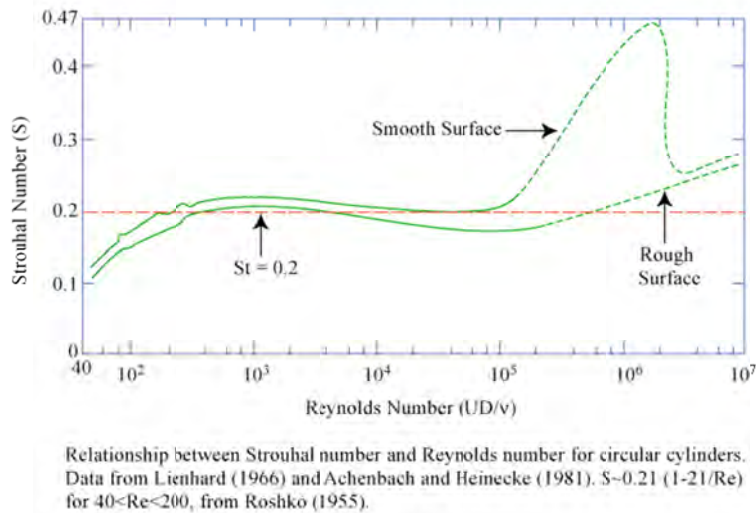


Diagramm 6: Strouhal - Zahl in Funktion der Reynolds - Zahl

Aus dem Diagramm 6 kann man nun die Strouhal – Zahl ablesen, diese ist, wie man auf dem Diagramm sieht, zusätzlich noch abhängig von der Oberflächengüte. Da als Korrosionsschutz die Führungsrohre verzinkt werden, nahm man ungefähr den Mittelwert zwischen glatter und rauer Oberfläche zur Bestimmung der Strouhal – Zahl an.

Als Strouhal – Zahl wurde 0.26 bestimmt.

Nun können die numerischen Werte in die Formel zur Bestimmung der Wirbelablösefrequenz (f_{Waf}) eingesetzt werden.

$$f_{Waf} = \frac{0.26 * 2.1m^{s-1}}{0.2985m}$$

$$f_{Waf} = 1.83 \text{ Hz}$$

Diese Frequenz liegt genau in dem Bereich, den man schon aufgrund der Fussgängereinwirkung vermeiden muss. Aus diesem Grund bedeutet dies keine weiteren Einschränkungen für die Konzeption der Turbinenbefestigung.

3.4.3 Anregung durch Wind

Eine weitere Möglichkeit wie Konstruktionen in Schwingungen versetzt werden können bietet der Wind. Da sich die Konstruktion aber genau im Windschatten der Brücke befindet wurde dieses Thema nicht weiter behandelt. Zusätzlich stützt man sich bei der Konstruktion bereits auf die Richtwerte der Norm von Fussgängerbrücken (siehe Kapitel 3.4.1), wo der Wind mitberücksichtigt wird.

3.5 Schwingungssimulationen

3.5.1 Modalanalyse der Plattform

Die folgenden Simulationen wurden mit der Konstruktionsversion vom 6. Juli 2016 durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde nur mit der Plattform (Abbildung 48) eine Modalanalyse durchgeführt. Dies geschah mit Hilfe der Finiten Elemente Methode von Inventor. Da Gitterroste nur auf die Plattform geschraubt werden und somit nicht fix sind, werden sie bei den Simulationen weggelassen. Das heisst, dass die Erhöhung der Steifigkeit nur gering wäre, zudem wird durch die zusätzliche Masse die Eigenfrequenz wieder verkleinert. Für diese Simulationen machte man aus diesem Grund die Annahme, dass sich diese zwei Einflussfaktoren gegenseitig aufheben würden. Das Geländer wird ebenfalls weggelassen.

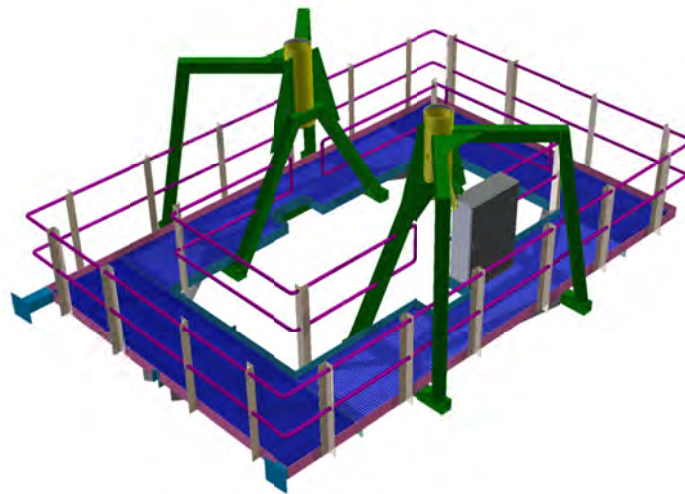


Abbildung 48: Plattform der Befestigungsstruktur

3.5.1.1 Definieren der Fixpunkte

Ein sehr wichtiger Teil bei einer Simulation ist die Festlegung der Abhängigkeiten bzw. der Fixpunkte, die eine Konstruktion aufweist. Das Ziel dabei muss sein, dass diese die Realität so gut wie möglich wiederspielen. Bei der Plattform wurden die Ringe des Verbindungsrohres, welche mit dem Führungsrohr verbunden sind und die Kontaktpunkte mit der Brücke als Fixpunkte angenommen.

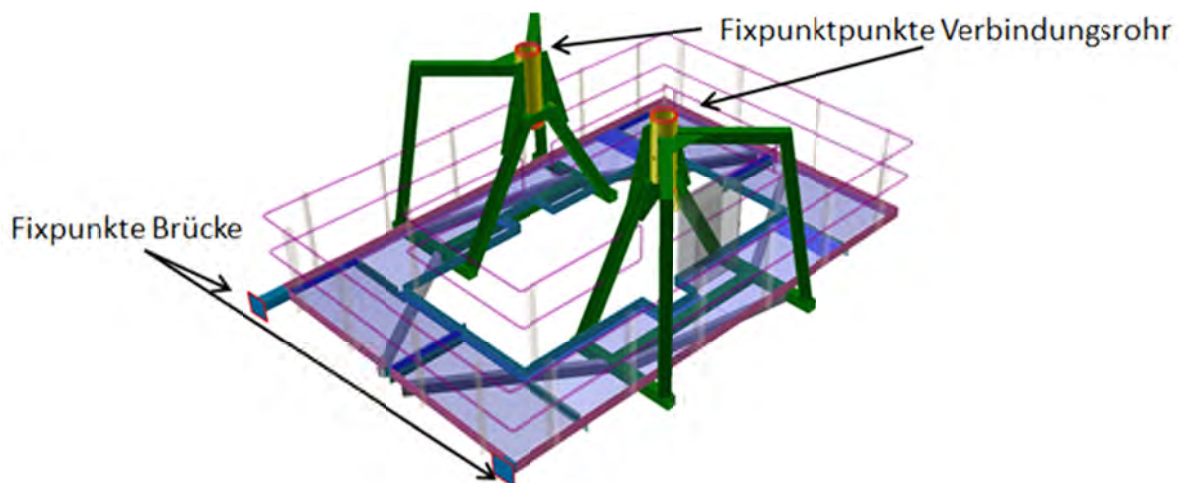


Abbildung 49: Plattform mit den Fixierungspunkten in rot

3.5.1.2 Netzanalyse

Zu Beginn jeder Analyse der Einfluss des Netzes auf die Simulation kontrolliert werden. Dafür wird die gleiche Simulation mit verschiedenen Netzgrößen mehrmals durchgeführt. In der nachstehenden Tabelle 6 und dem Diagramm 7 sieht man den Frequenzverlauf in Funktion der Moden für die verschiedenen Netze. Als Netzgrößen wählte man die Faktoren 0.05, 0.1 und 0.15.

#		Feine Netzgrösse	Fehler	Mittlere Netzgrösse	Fehler	Grobe Netzgrösse	Fehler
Faktor Durchschnittliche Elementgrösse		0.05		0.1		0.15	
Faktor minimale Elementgrösse		0.2		0.2		0.2	
Knoten		750'431		358'828		354'293	
Elemente		376'212		170'098		171'021	
		Hz	%	Hz	%	Hz	%
Mode	1	11.8	-2.6	12.1	Referenz	12.5	2.7
	2	13.5	-2.3	13.9		13.5	-2.3
	3	16.8	-3.0	17.3		17.5	1.1
	4	18.4	-1.1	18.6		18.2	-2.0

Tabelle 6: Frequenzwerte in Funktion der Moden mit versch. Netzdimensionen

Bei der ersten Eigenfrequenz der Plattform handelt es sich um Biegung in vertikaler Richtung, des hinteren Teils. (siehe Abbildung 50)

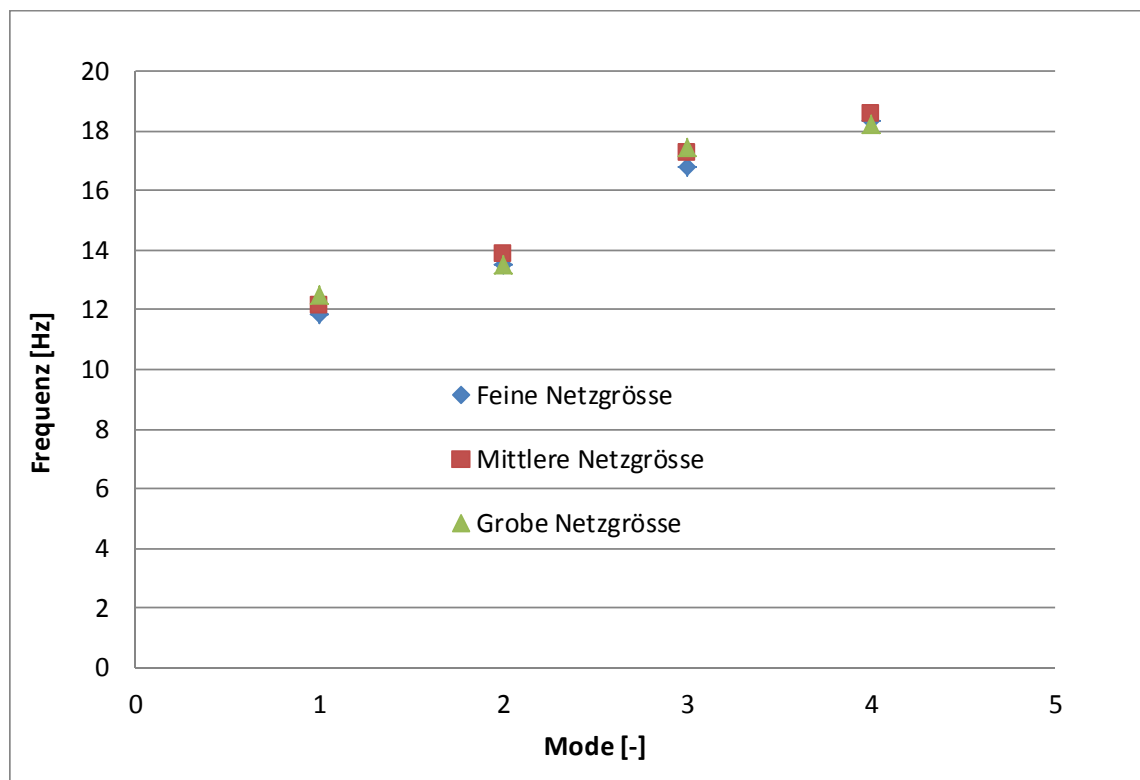


Diagramm 7: Frequenzen in Funktion der Moden mit versch. Netzdimensionen

Wie man im Diagramm 7 sieht, befinden sich die verschiedenen Frequenzen immer in der etwas gleichen Größenordnung. Das bedeutet, dass die Netzgrößen hier nur eine untergeordnete Rolle spielen. Für die Simulation, auf welche genauer eingegangen wird, nahm man die mittlere Grösse.

Für die Simulation wurden die ersten 4 Eigenfrequenzen simuliert. Dies ist genügend, da vor allem die erste Eigenfrequenz von entscheidender Bedeutung ist. Denn je tiefer die Eigenfrequenz wird, desto einfacher wird es solche Frequenzen hervorzurufen. Ein Beispiel hierfür sind sich bewegende Personen. Die Schrittfrequenz einer normal gehenden Person liegt bei ungefähr ein bis drei Hertz. Das Ziel ist also, die Eigenfrequenzen so hoch als möglich zu haben, damit man nicht Gefahr läuft, ungewollt in einen Resonanzfall zu geraten.

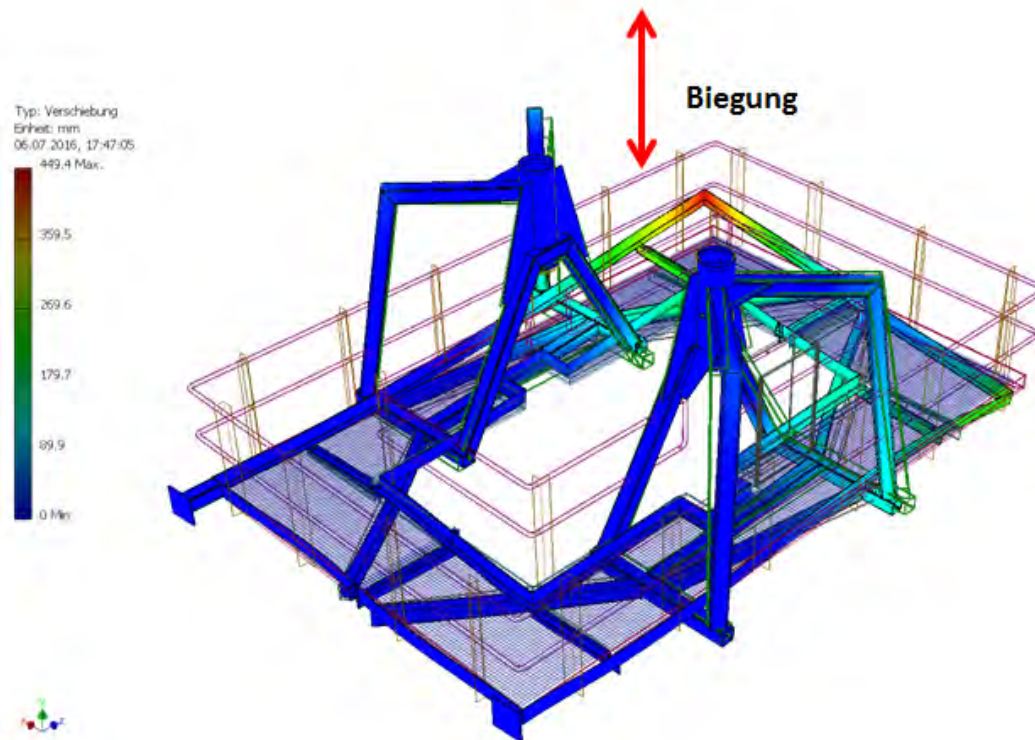


Abbildung 50: 1. Eigenfrequenz der Plattform

Auf der Abbildung 50 sieht man, dass als erstes der von der Brücke abgewandte Teil der Plattform zu schwingen beginnen würde. Dies geschieht bei einer Frequenz von ungefähr zwölf Hertz.

In der Tabelle 6 sieht man den exakten Wert sowie die Frequenzen der nächsthöheren Eigenschwingungen.

Bei der ersten Eigenfrequenz handelt es sich um Biegung in vertikaler Richtung, des hinteren Teils.

Die Norm 260, Anhang C, Tabelle 10 (siehe Kapitel 3.4.1) des schweizerischen Ingenieurs- und Architektenvereins gibt vor, dass die Eigenfrequenz höher als 4.5 Hz sein sollte. Aus diesem Grund kann man sagen, dass die Konstruktion genügend steif ist und keine Gefahr besteht in einen Resonanzfall zu treten.

3.5.2 Modalanalyse Gesamtkonstruktion

Nachdem man eine Modalanalyse nur mit der Plattform durchgeführt hat, muss man in einem nächsten Schritt natürlich auch die gesamte Konstruktion auf ihre Steifigkeit kontrollieren. Bei dieser Simulation wird betreffend der Plattform gleich verfahren wie in der vorherigen Simulation (siehe Kapitel 3.5.1). Das heisst, die Gitterroste werden wiederum weggelassen. In dieser Simulation werden zusätzlich die Schrauben weggelassen, da diese keinen grossen Einfluss haben (siehe Kapitel 3.3).

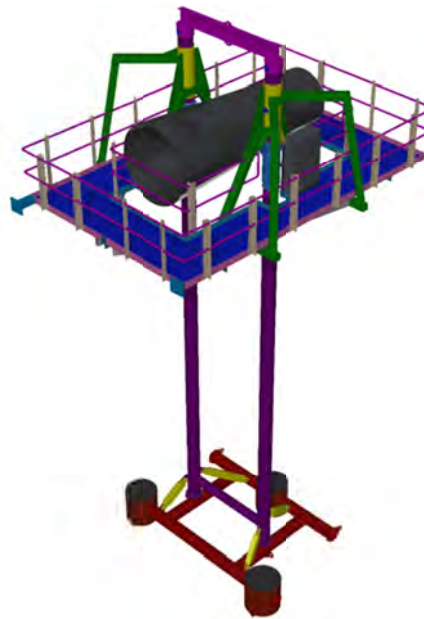


Abbildung 51: Gesamtansicht der Turbinenhalterung

3.5.2.1 Definieren der Fixpunkte

Für diese Simulation wurden als Fixpunkte beim Sockel die Rohrteile genommen, welche vom Betongewicht umschlossen sind. Zudem werden die Kontaktpunkte mit der Brücke als fix betrachtet.

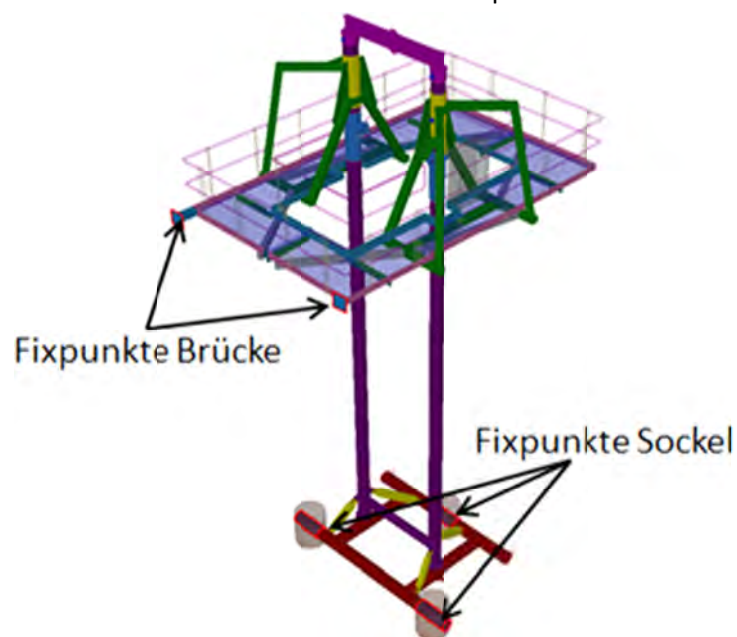


Abbildung 52: Fixpunkte für Simulation mit Gesamtkonstruktion

3.5.2.2 Netzanalyse

Wie bereits bei der Plattform, (siehe Kapitel 3.5.1.2), wurde auch bei der Gesamtkonstruktion eine Netzanalyse durchgeführt. Das Ziel ist wiederum dasselbe, nämlich den Einfluss der Netzgrößen auf die Endergebnisse zu kennen. Bei dieser Analyse wurden aber mit etwas kleineren Faktoren für die Netzgröße gearbeitet. Der Grund hierfür liegt beim Führungsrohr, da dieses sehr lang ist, wird dort die kleinste Elementgröße aufgrund des gleich bleibenden Faktors auch grösser. Dies kann dazu führen, dass die kleinste Elementgröße immer noch zu gross ist. Dadurch ist es für das Programm nicht möglich, in diesem Bereich ein Netz zu erstellen und es gibt eine Fehlermeldung. Als Elementgrößen nahm man schlussendlich 0.05, 0.08 und 0.1.

#		Feine Netzgröße	Fehler	Mittlere Netzgröße	Fehler	Grobe Netzgröße	Fehler
Faktor Durchschnittliche Elementgröße		0.05		0.08		0.1	
Faktor minimale Elementgröße		0.2		0.2		0.2	
Knoten		2'465'727		1'248'774		1'037'467	
Elemente		1'363'639		650'269		517'996	
		Hz	%	Hz	%	Hz	%
Mode	1	5.9	-3.6	6.1	Referenz	6.2	1.5
	2	6.4	-2.1	6.5		6.6	1.5
	3	7.7	-1.4	7.8		7.9	1.0
	4	11.2	-2.2	11.4		11.5	0.6

Tabelle 7: Werte der Netzanalyse für die Gesamtkonstruktion

Bei der ersten Eigenfrequenz der Gesamtkonstruktion handelt es sich um Biegung in Querrichtung der Brücke, der gesamten Plattform. (siehe Abbildung 53)

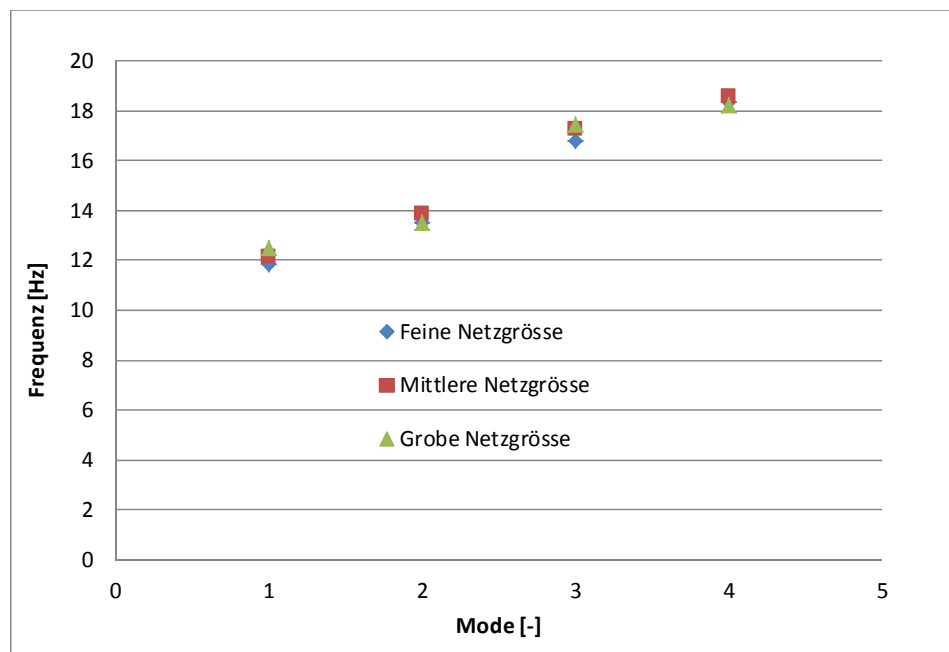


Diagramm 8: Frequenzverhalten der unterschiedlichen Netze

Auf dem Diagramm 8 sieht man, dass zwischen den verschiedenen Netzgrößen keine markanten Unterschiede bestehen. Das bedeutet, dass man sich im richtigen Elementgrößenbereich befindet. Für die Simulation wurde schliesslich 0.08 als Faktor für die durchschnittliche Elementgröße gewählt.

3.5.2.3 Simulation

Für diese Simulation wurden wiederum die ersten vier Eigenfrequenzen simuliert. Für die Gesamtkonstruktion erwartet man einen tieferen Wert für die erste Eigenfrequenz, als dies bei Simulation der Plattform (siehe Kapitel **Error! Reference source not found.**) der Fall war. Die Gründe dafür sind zum einen der Schwerpunkt der Konstruktion, der aufgrund der langen Führungsrohre nach oben wandert und zum anderen auch die gesamthaft grössere Masse. Für die Simulation wurde die Turbine durch ein vereinfachtes Modell mit den gleichen Eigenschaften ersetzt.

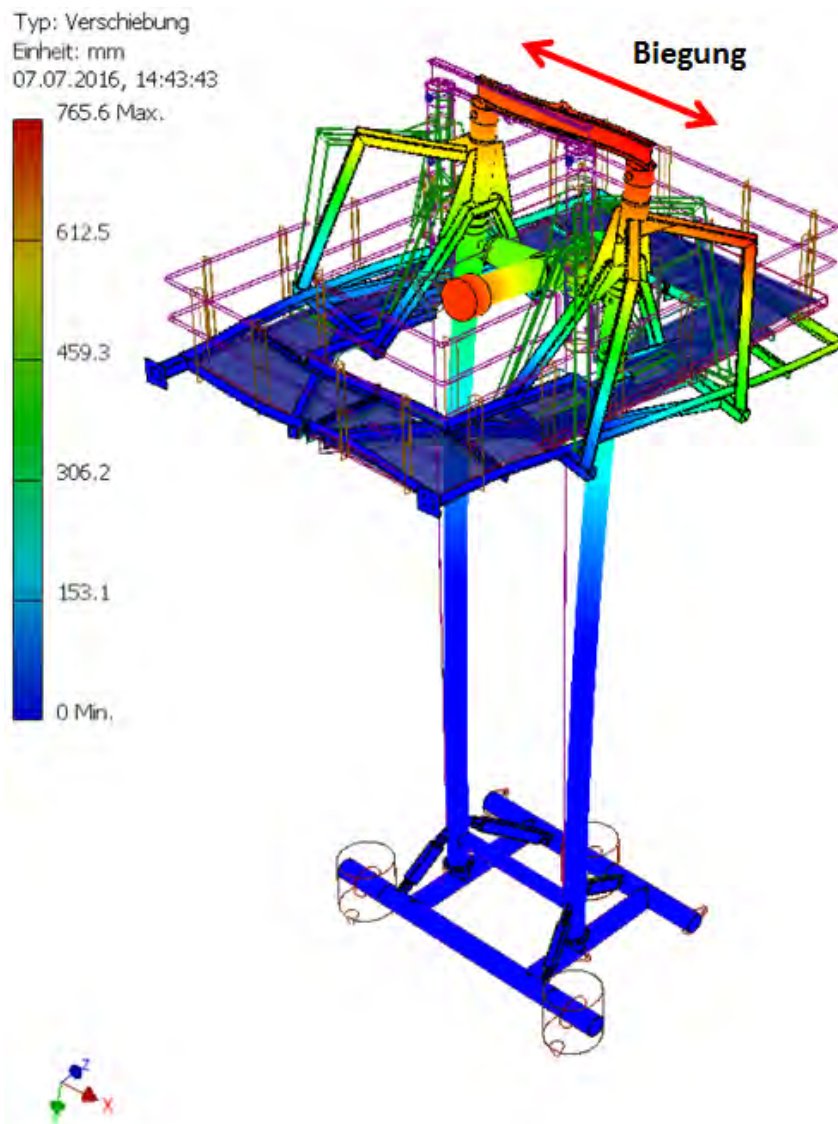


Abbildung 53: Gesamtkonstruktion schwingt in ihrer ersten Eigenfrequenz

Auf der Abbildung 53 sieht man, dass sich die gesamte Konstruktion bei der ersten Eigenfrequenz zum einen in X- Richtung hin und her bewegt und das sich die Plattform bei der Brücke abgewandten Seite in Y- Richtung bewegt. Die Frequenz für die erste Eigenschwingung liegt bei ungefähr 6 Hertz. Diese ist wie erwartet tiefer als die erste Eigenfrequenz der Plattform. Aus der Norm 260, Anhang C, Tabelle 10 (siehe Kapitel 3.4.1) kann man entnehmen, dass die Frequenz höher als 4.5 Hz liegen sollte. Da dies der Fall ist, kann man sagen, dass die gesamte Konstruktion ebenfalls genügend steif ist.

3.5.3 Einfluss von exzentrischen Belastungen

Bis jetzt hat man gesehen, dass die Konstruktion genügend steif ist. Dabei wurde aber ausser Acht gelassen, welchen Einfluss Personen bzw. das Gewicht der Personen und des Elektroschranks auf das Schwingungsverhalten haben. Um dies zu kontrollieren, wurden ebenfalls Simulationen durchgeführt. Die maximale Personenanzahl wurde, wie bereits erwähnt, auf fünf Personen festgelegt. Für die Simulation wurde wiederum mit Hilfe von Stahlblöcken das Gewicht imitiert. Die Personen wurden mit 90kg und der Elektroschrank mit circa 80kg angenommen. Um den Extremfall zu simulieren, wurden alle Personen an die gleiche Stelle gesetzt. Als Belastungspunkt wählte man wiederum eine Ecke, welche auf der Gegenseite zur Brücke lag (siehe Abbildung 54)

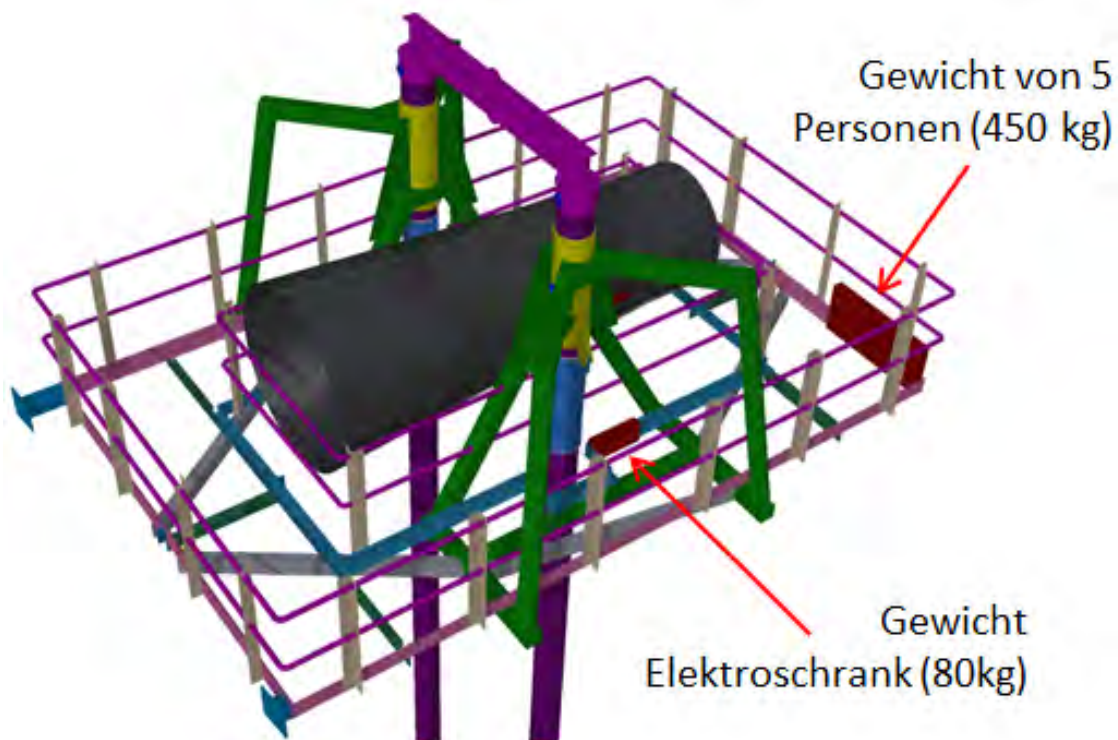


Abbildung 54: Plattform mit nicht zentriertem Gewicht hinten

Die Simulationsergebnisse zeigten, dass sich die Eigenfrequenz bei dieser Belastungssituation nochmals ein wenig nach unten verkleinerte. Die Eigenfrequenz lag bei noch circa 4.9 Hz. Dieser Wert mag doch eher klein erscheinen bzw. naheliegend dem Minimumwert, welcher von der Norm 260 des schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein (siehe Kapitel 3.4.1) vorgegeben wird. Man muss aber auch relativieren, denn das Eintreten dieses Belastungsfalls wird in der Realität kaum eintreten. Denn schon rein aus Platzgründen ist es für fünf Personen nicht möglich, sich auf so einer kleinen Fläche aufzuhalten. Auf der Abbildung 55 kann man zudem noch die Schwingungsrichtung der 1. Eigenfrequenz erkennen. Dabei handelt es sich um eine Auf- und Abbewegung der Ecke mit dem Gewicht.

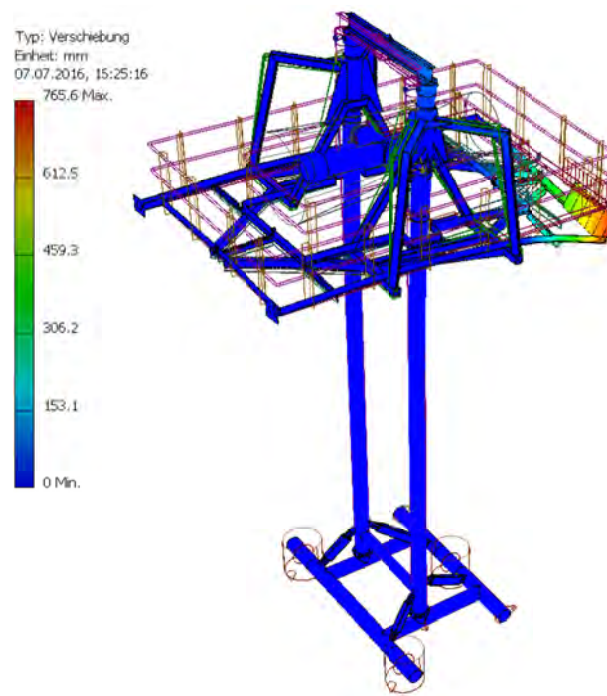


Abbildung 55: 1. Eigenfrequenz mit nicht zentriertem Gewicht hinten

3.6 Statische Festigkeitsberechnungen

3.6.1 Vergleich: Simulation Inventor / Manuelle Nachrechnung

Für die Spannungssimulation mittels Inventor nahm man an, dass eine Kraft mittig auf den Trägerbalken wirkt. Die Maximalkraft, die so auf den Balken wirken könnte, könnte man erhalten, indem die Ganze Konstruktion am Haken hängen würde. Als Werkstoff für den Träger wird ein Stahl S355J gewählt. Im Prinzip ein Notfallkonzept um die ganze Konstruktion so schnell wie möglich aus dem Wasser zu heben.

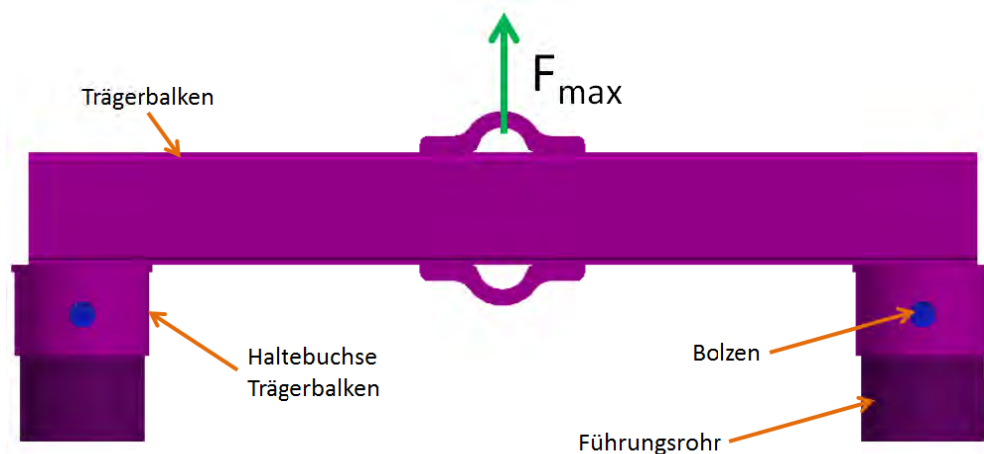


Abbildung 56: Trägerbalken mit Ösen

Die Konstruktion ohne Turbine wiegt circa 10.5 Tonnen. Der Trägerbalken wird mittels Bolzen (Durchmesser 60mm) mit dem Führungsrohr verbunden (Abbildung 56).

3.6.1.1 Simulation mit Inventor

Um die Einwirkungen der Kraft auf den Balken genau zu kennen, wurde eine Simulation mittels Finite Elemente im Inventor durchgeführt.

3.6.1.1.1 Definieren der Fixpunkte

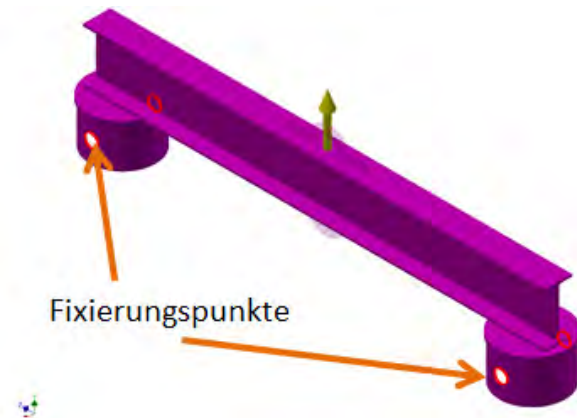


Abbildung 57: Trägerbalken (Fixpunkte für die Simulation in rot)

Auf der Abbildung 57 sieht man wie der Trägerbalken für die Simulation fixiert wurde. Als Fixpunkte für die Simulation wurden die Bohrungen für den Bolzen genommen.

3.6.1.1.2 Netzanalyse

Für die Netzanalyse wählte man die Modalanalyse. Der Grund dafür ist, dass man dabei gut die jeweiligen Frequenzen miteinander vergleichen kann. Um es statisch analysieren zu können müsste man immer die Spannungen am selben Ort miteinander vergleichen. Die einzige Möglichkeit, um das so zu machen, bietet das Werkzeug „Prüfen“ im Inventor. Dies ist eine Art Sonde, mit welcher man auf den gewünschten Punkt klicken kann und dieser gibt die jeweilige Spannung zurück. Das Problem dabei ist, dass man diese Sonde nach jeder Simulation neu platzieren muss. Dadurch kann man nicht zu hundert Prozent garantieren, dass man die genau gleichen Orte miteinander vergleicht.

#		Feine Netzgrösse	Fehler	Mittlere Netzgrösse	Fehler	Grobe Netzgrösse	Fehler
	Faktor Durchschnittliche Elementgrösse	0.05		0.1		0.15	
	Faktor minimale Elementgrösse	0.2		0.2		0.2	
	Knoten	109'469		30'534		14'156	
	Elemente	58'058		14'774		6'832	
		Hz	%	Hz	%	Hz	%
Mode	1	97.57	-1.7	99.24	Referenz	110.59	11.4
	2	148.47	-0.4	149.09		160.73	7.8
	3	257.69	-1.1	260.57		276.48	6.1
	4	305.66	-0.7	307.85		312.61	1.5

Tabelle 8: Netzanalyse für den Trägerbalken

Bei der ersten Eigenfrequenz des Trägerbalkens handelt es sich um zwei Phänomene, einerseits gibt es Torsion und andererseits Biegung. (siehe Abbildung 58)

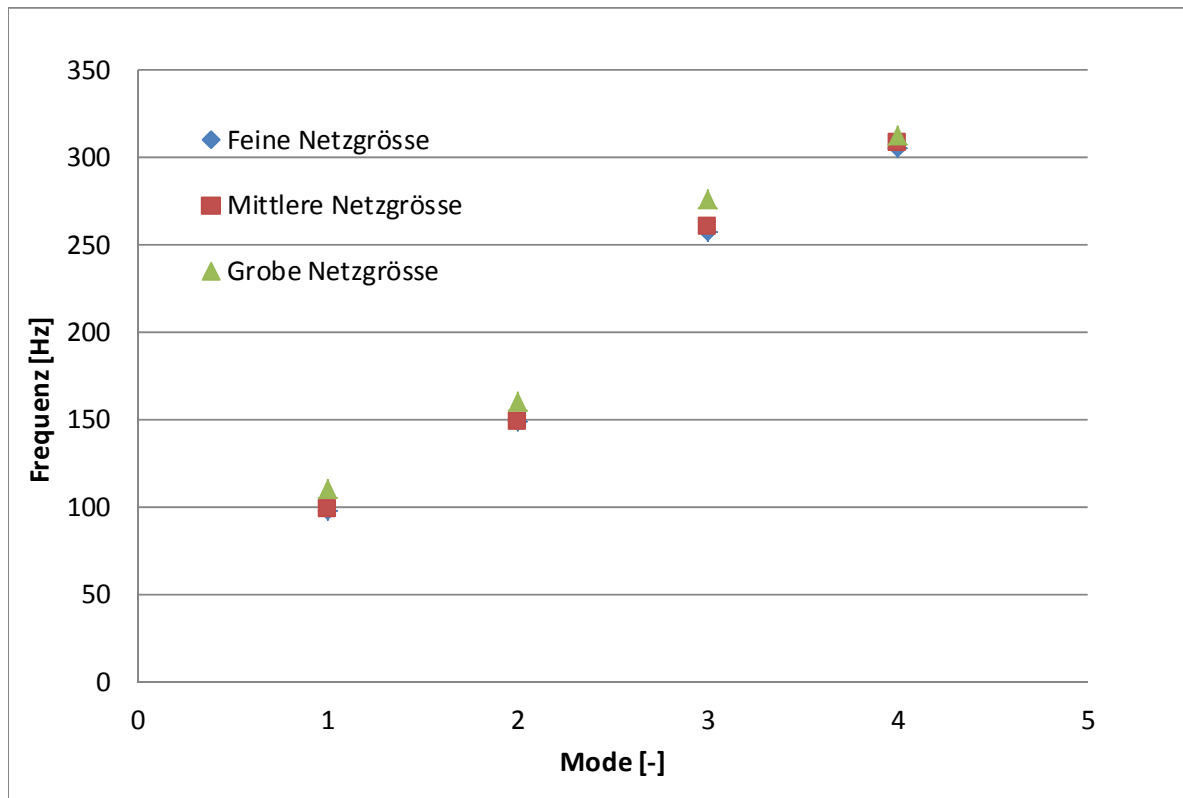


Diagramm 9: Frequenzen der verschiedenen Netzgrößen

Auf dem Diagramm 9 sieht man, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Netzen nicht so gross sind. Als weiterer Vergleich kann man sich die Tabelle 8 anschauen. Bei der Netzgröße 0.15 sieht man, dass dort die Abweichungen schon etwas grösser kommen (max. +11%). Um auf der sicheren Seite zu sein, wählte man das nächstkleinere (Durchschnittliche Elementgröße 0.1)

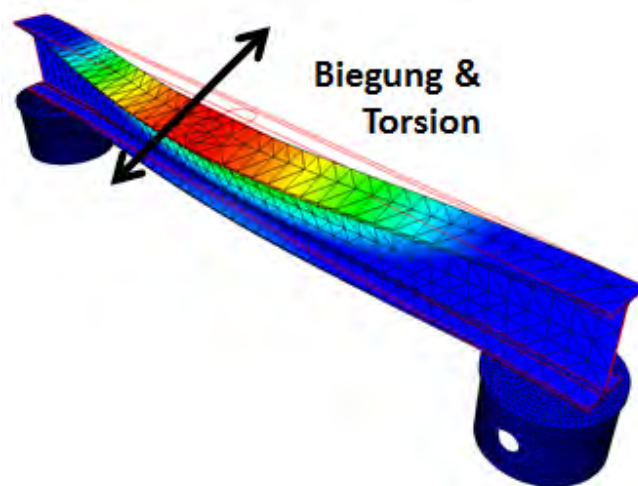


Abbildung 58: Verformungsrichtung bei der 1. Eigenfrequenz , mit Netzansicht

3.6.1.1.3 Simulation

Die Kraft wurde genau in der Mitte des Trägerbalkens angelegt. Die angelegte Kraft betrug 120'000N, dies ist in etwa das Gewicht der gesamten Konstruktion.

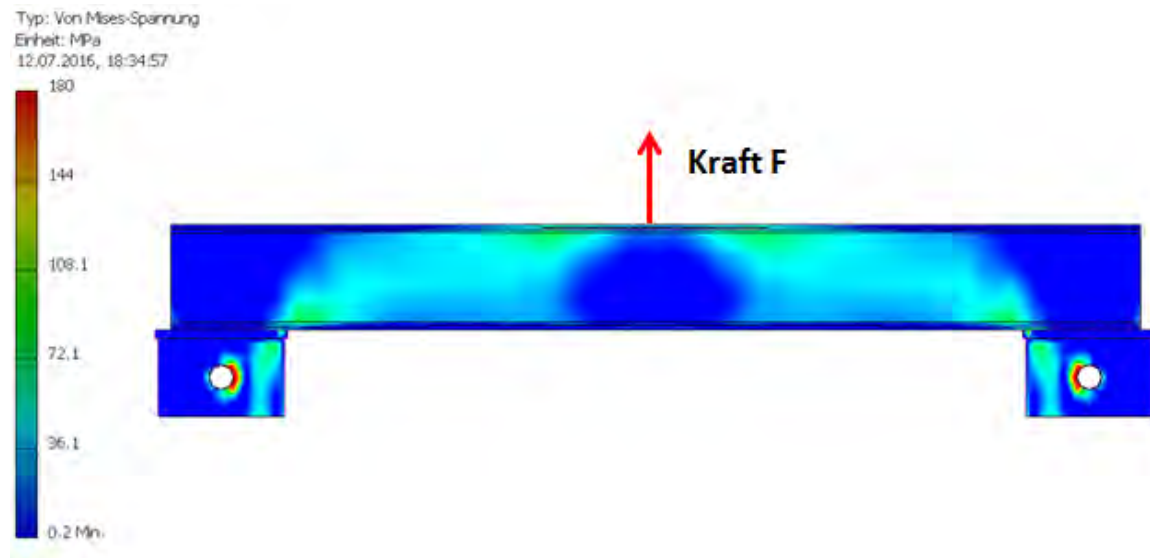


Abbildung 59: Simulation Trägerbalken

Auf der Abbildung 59 sieht man, dass die durchschnittlich maximalen Spannungswerte ungefähr bei 115 MPa liegen. Spannungsspitzen bestehen bei den Bohrungen, dort liegen die Werte maximal bei ungefähr 250 MPa. Für Stahl wäre dies im Regelfall kein Problem, solange er komplett fehlerfrei ist und die Streckgrenze bei 355 MPa liegt.

3.6.1.2 Kontrolle der Simulation

Um sicher zu gehen, dass die Werte, welche vom Inventor berechnet werden, auch in etwa mit den herkömmlichen Berechnungen übereinstimmen, wurden die Spannungen nachgerechnet. Um die Berechnung nicht zu verkomplizieren, wurde der Stahlträger so angesehen, als ob er an zwei Punkten gelagert ist. Damit man zusätzlich auf der sicheren Seite war, nahm man aber an, dass er beidseitig gestützt war, statt eingespannt. Dadurch wurde zur Berechnung des Moments die folgende Formel verwendet:

$$F_{Z_{MAX}} \approx 120'000N$$

$$M = \frac{F_{Z_{MAX}} * L}{4} \quad (3)$$

Die Balkenlänge L beträgt 2'488mm. Für das Moment erhalten wir:

$$M = \frac{120'000N * 2488mm}{4} = 76'640'000Nmm$$

Als Trägerprofil wurde ein IPE270-Profil verwendet, das I_z beträgt dafür 55'047'466.68 und y_{MAX} = 135mm

$$\sigma_{\max} = \frac{M * y_{\max}}{I_z} = \frac{76'640'000 \text{ Nmm} * 135 \text{ mm}}{55'047'466.68 \text{ mm}^4} = \mathbf{187.9 \text{ MPa}} \quad (4)$$

Vergleicht man den Wert, welche man in der Simulation erhalten hat, mit dem Wert der berechnet wurde, so sieht man, dass der berechnete Wert circa um den Faktor 1.5 grösser ist. Ein möglicher Grund für diese Abweichung liegt sicher darin, dass bei der normalen Berechnung der Träger nur als aufgestützt angesehen wurde. Im Allgemeinen kann man aber sagen, dass die Werte miteinander korrelieren.

Um die Grössenordnung der Verschiebung zu kennen, wurde ebenfalls noch eine kleine Berechnung durchgeführt. Die Formel für die maximale Durchbiegung lautet für die zweiseitige Lagerung:

$$v_{\max} = \frac{F_{Z\max} * L^3}{48 * E * I_z} \quad (5)$$

Das E-Modul von Stahl beträgt 210'000MPa.

$$v_{\max} = \frac{120000 \text{ N} * (2'448 \text{ mm})^3}{48 * 210'000 \text{ MPa} * 55'047'466.68 \text{ mm}^4} = \mathbf{3.33 \text{ mm}}$$

Diese Verschiebung stellt im Allgemeinen Konstruktionen kein grosses Problem dar. Ansonsten müsste man einen grösseren Träger wählen.

3.6.2 Simulationen zur Konstruktion der Plattform

Bei den nachstehenden Simulationen sieht man, wie die Plattform mit Hilfe der Simulationen (Finite Elemente) konstruiert wurde. Dank den fortlaufenden Simulationen war es direkt möglich, Schwachstellen in der Konstruktion zu erkennen und diese zu verbessern.

3.6.2.1 Definieren der Fixpunkte

Zu Beginn wurden die Fixpunkte der Plattform definiert. Bei der Plattform waren dies (gemäss Abbildung 60) die äusseren Teile der Halterohre.

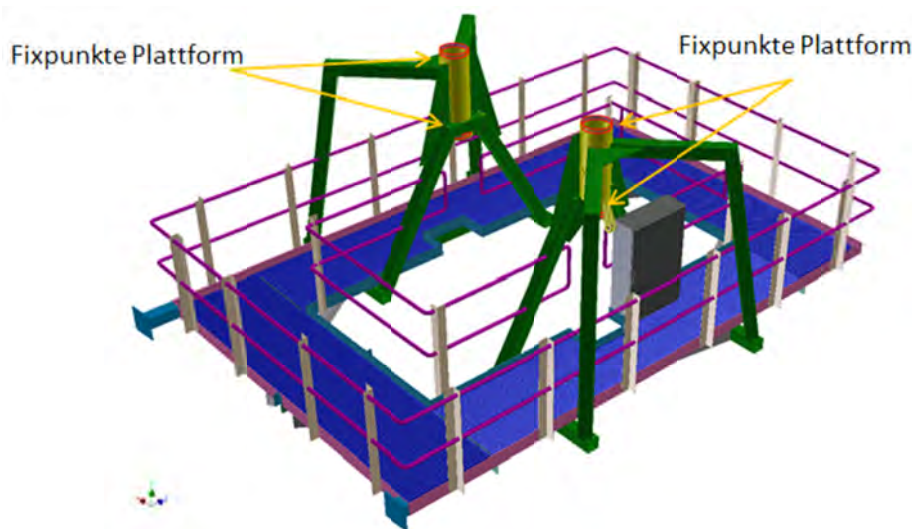


Abbildung 60: Plattform mit Fixpunkten für die statische Simulation

3.6.2.2 Netzanalyse

Beim Netz wird wiederum das Netz mit der durchschnittlichen Elementgrösse 0.1 gewählt. Die genaue Netzanalyse wurde bereits im Kapitel 3.5.1.2 durchgeführt.

3.6.2.3 Simulation & Druckberechnungen

Das gesamte Podest sollte so konstruiert werden, dass es bis zu 300kgm^{-2} belastet werden kann. Zur Kontrolle, ob es genügend steif und fest ist, wird im Folgenden der Aufbau der Plattform Schritt für Schritt mittels Simulationen kontrolliert. Die erste Kontrolle, die durchgeführt wurde, war mit der Haltekonstruktion. Da wie bereits oben erwähnt, die Gitterroste für die Simulationen weggelassen werden, wird nicht mit einer Kraft belastet, sondern mit einem Druck, der gleichmässig auf die Auflageflächen wirkt. Zur Berechnung dieses Drucks musste man zuerst die gesamte Belastung kennen, die auf die Haltekonstruktion wirkt. Die maximale Gesamtbelastung auf die Konstruktion rechnet sich wie folgt:

$$m_{tot} = A_{Podest} * q_{Podest} \quad (6)$$

A_{Podest} = Gesamtfläche Podest [m^2]

q_{Podest} = Flächenbelastung [kgm^{-2}]

Daraus ergibt sich eine Gesamtmasse von:

$$m_{tot} = 17.8 \text{ m}^2 * 300\text{kgm}^{-2} = 5'340 \text{ kg} \approx 5'300 \text{ kg}$$

Da es insgesamt zwei Haltekonstruktionen gibt, wurde die Gesamtbelastung noch durch zwei geteilt. Zur weiteren Berechnung nahm man die nachstehenden Werte: $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$ & $A_{Auflage} = 688'000 \text{ mm}^2$

$$p_{Haltekonstruktion} = \frac{m_{tot} * g}{2 * A_{Auflage}} = \frac{5'340 \text{ kg} * 9.81\text{ms}^{-1}}{2 * 688'000\text{mm}^2} = 0.038 \text{ Mpa} \approx 0.04\text{MPa} \quad (7)$$

Mit diesem Druck wurde die Haltekonstruktion nun wie in Abbildung 61 belastet. Zusätzlich wurde auch noch die Schwerkraft für Simulation mit einbezogen.

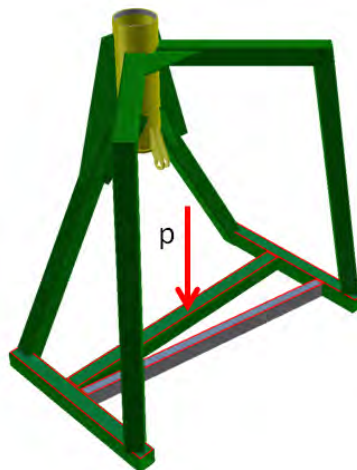


Abbildung 61: Druckbelastung der Haltekonstruktion

Auf der Abbildung 62 sieht man, wie sich die Haltekonstruktion unter der Belastung verhält. Zusätzlich sieht man in etwa die Verformungsrichtungen. Hierbei ist aber zu erwähnen, dass die Verformung übertrieben stark dargestellt ist. Werden nun die Spannungen etwas genauer betrachtet, so sieht man, dass es im Bereich der Befestigung der oberen Stützwinkel, im Vergleich mit der restlichen Konstruktion, etwas höhere Spannungen gibt. Diese haben einen ungefähren Spitzenwert von circa 60 - 65 MPa. Für Stahl ist diese Spannung aber ohne Problem auszuhalten.

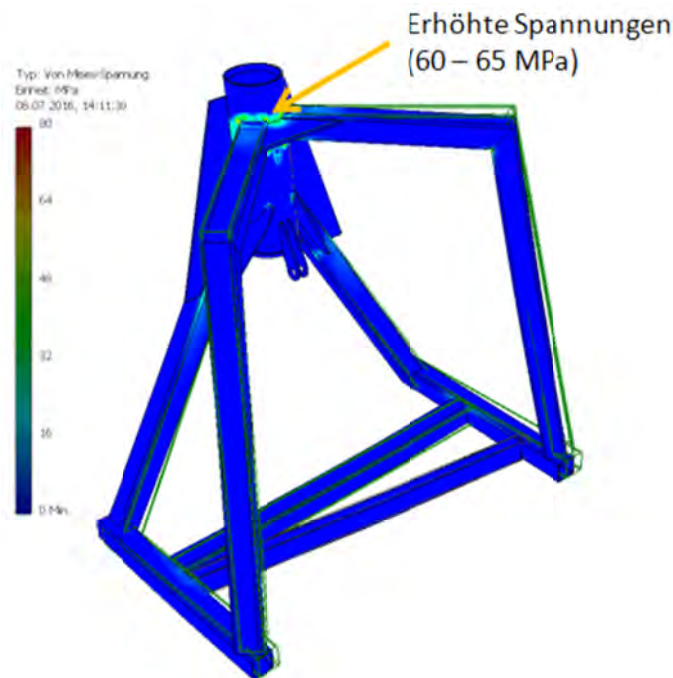


Abbildung 62: Spannungen in der Haltekonstruktion

Aus diesem Grund konnte mit dem weiteren Aufbau der Plattform ohne Probleme weiter gefahren werden.

Als nächster Schritt wurden die Winkelprofile hinzugefügt. Diese Profile bilden einen Innen- und einen Aussenring, welche für die Gitterroste bzw. die Lauffläche eine Abstützfläche bieten. Aus schwingungstechnischen Gründen wurden noch Querverstrebungen eingebaut.

Aufgrund der erhöhten Auflagefläche für die Gesamtbelastung von 5'340 kg musste der Druck neu berechnet werden. Als neue Auflagefläche nahm man: $A_{\text{Auflagegesamt}} = 1'750'500 \text{ mm}^2$

$$p_{\text{gesamt}} = \frac{m_{\text{tot}} * g}{A_{\text{Auflagegesamt}}} = \frac{5'340 \text{ kg} * 9.81 \text{ ms}^{-1}}{1'750'500 \text{ mm}^2} = 0.030 \text{ Mpa} \quad (8)$$

Die Art der Druckbelastung bzw. die Auflagefläche sieht man auf der Abbildung 65.

Erwartungsgemäss sind die Spannungen der Konstruktion auf den Oberkanten der Winkelprofile etwas erhöht (Abbildung 63). Der Grund dafür ist, dass sich Winkelprofile links und rechts der Haltekonstruktionen einerseits durch die Belastung und andererseits durch das Eigengewicht nach unten gedrückt werden. Die Spannungen lagen maximal bei circa 95 MPa.

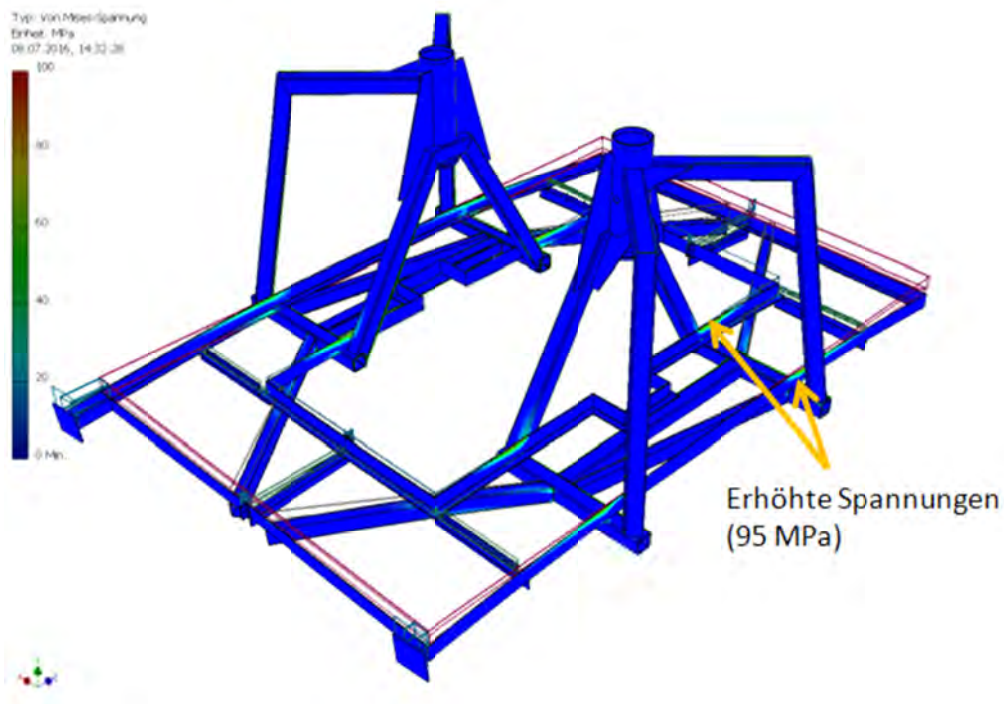


Abbildung 63: Spannungen in den Winkelprofilen

Auf dem folgenden Bild (Abbildung 64) sieht man die Spannungen bzw. den Spannungsverlauf besser. Wie bereits oben erwähnt, biegen sich die Winkelprofile nach unten, sobald sie nicht mehr von der Haltekonstruktion gestützt werden.

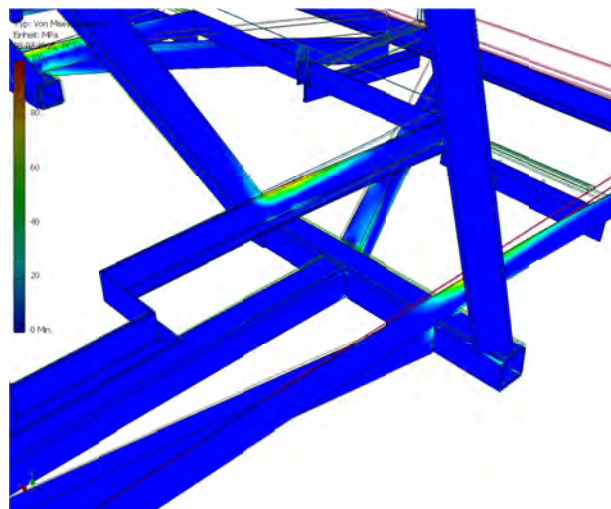


Abbildung 64: Erhöhte Spannung im Winkelprofil

Um die Spannungen an diesen Punkten zu minimieren, wurden zusätzlich die Geländer mit einbezogen. Das bedeutet, dass die Geländer mit der Haltekonstruktion und den jeweiligen Stützen verschweisst wurden. Dadurch ergibt es eine Art Belastungsteilung, dies führt zwar dazu, dass das Geländer auch Kräfte aufnehmen muss. Gleichzeitig werden die Spannungen in den Winkelprofilen aber minimiert. Um dieses Verhalten zu kontrollieren, wurde wiederum eine Simulation durchgeführt. Auf der Abbildung 65 sieht man, wie die Belastung auf die gesamte Plattform angewendet wurde.

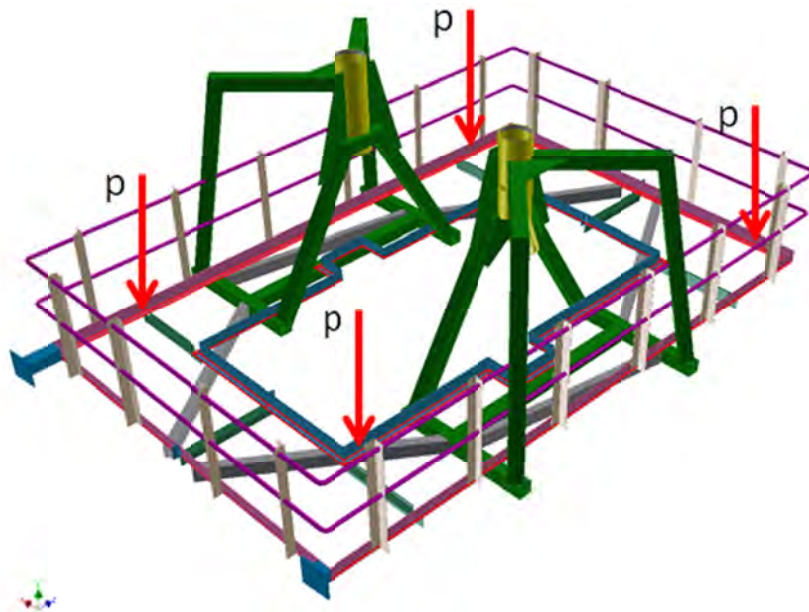


Abbildung 65: Belastung der Plattform

Schaut man sich nun die Ergebnisse der Simulation an, so sieht man auf der Abbildung 66 im ersten Moment nicht viel, ausser das bei den Stützen auch Spannungen auftreten.

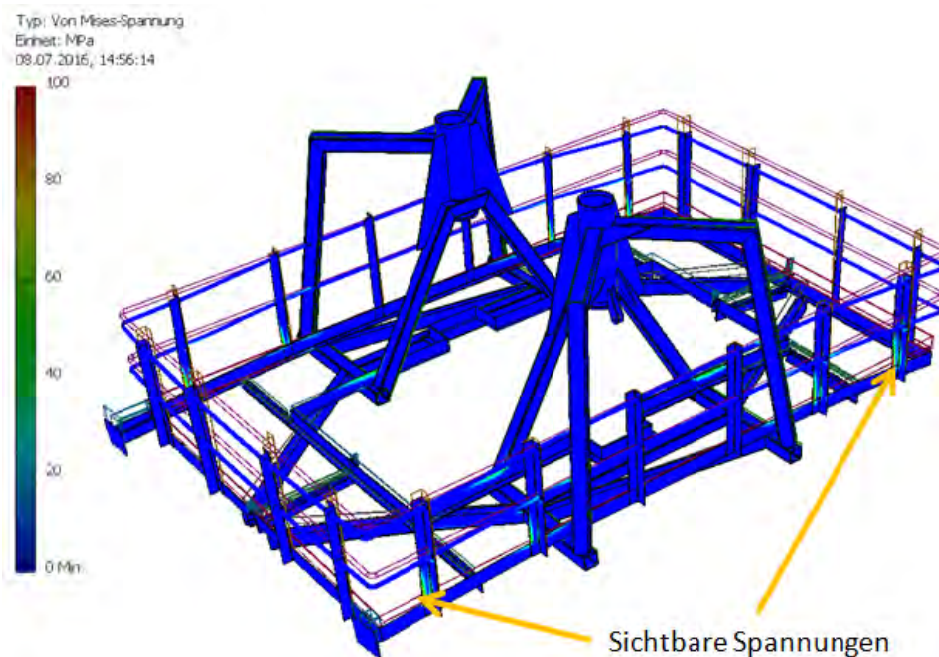


Abbildung 66: Spannungen mit Geländer

Auf der Abbildung 67 kann man nun den besseren Spannungsverlauf deutlich erkennen. Die auftretenden Spannungen haben sich fast halbiert. Die maximalen Spannungen auf der Oberseite der Winkelprofile verkleinerten sich von circa 90 MPa auf nur noch ungefähr 50 MPa.

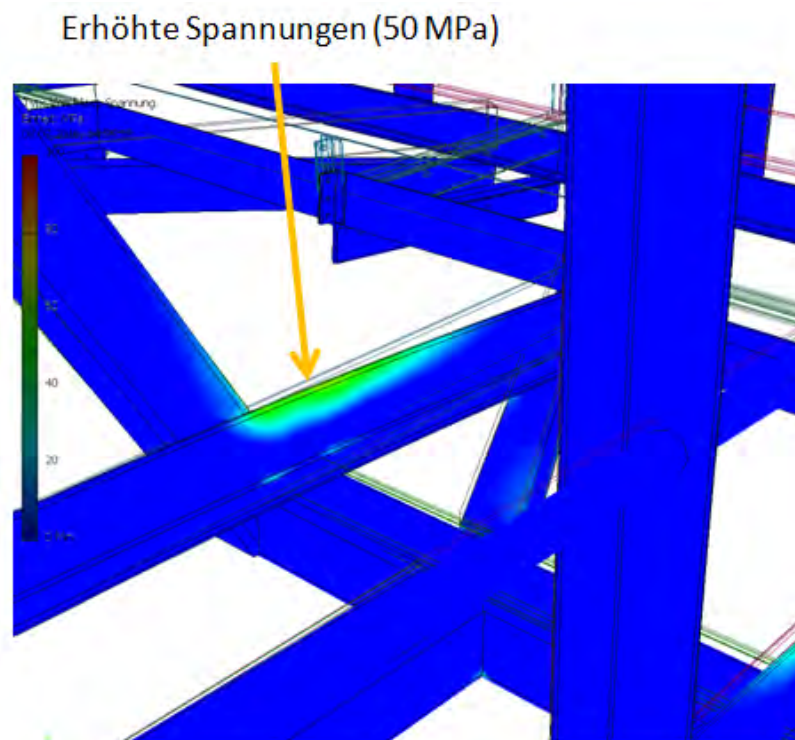


Abbildung 67: Verbesserung der Spannung beim Winkelprofil

Nach all diesen Simulationen betreffend der statischen Festigkeit kann man sagen, dass die Plattform die Belastung von 300kgm^{-2} ohne Probleme aushält.

3.6.3 Exzentrische Belastung bei der Plattform

Da die Plattform nicht immer gleichmäßig belastet wird, sondern sich zum Teil einzelne Personen bzw. Personengruppen an einem Ort aufhalten, können exzentrische Belastungen auftreten. Um den Einfluss dieser Belastungen auf die Plattform zu kennen, wurde wiederum eine Simulation durchgeführt. Die maximale Personenzahl beträgt fünf. Um den schlimmsten Fall zu simulieren, wurden alle fünf Personen bzw. ein Stahlblock mit dem entsprechenden Gewicht auf der Brücke abgewandter Seite in der Ecke platziert. Zusätzlich wurde noch das Gewicht des Elektroschranks miteinbezogen. Dies sieht man auch auf der Abbildung 68. Zusätzlich kann man erkennen, dass bei der Stütze, welche sich in dieser Ecke befindet, etwas erhöhte Spannungen abzeichnen. Der Wert liegt bei circa 90 MPa, das bedeutet immer noch einen Sicherheitsfaktor von fast vier bei einem Stahl S355.

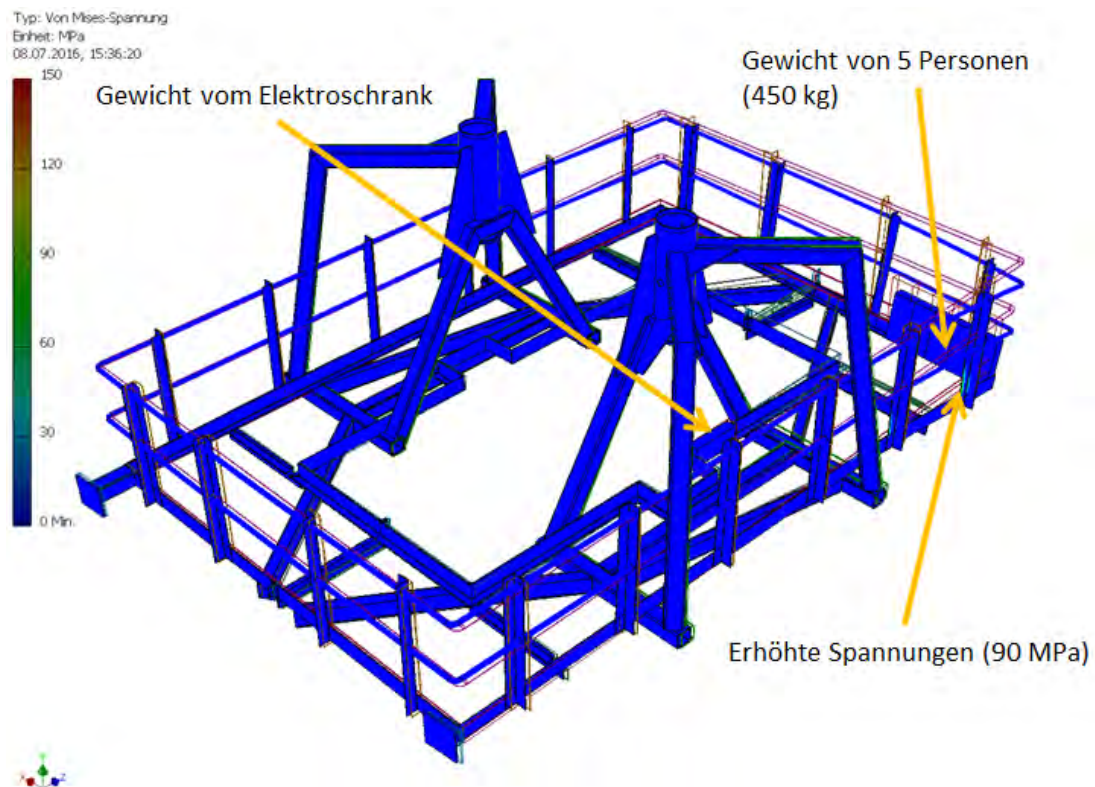


Abbildung 68: Spannungen mit exzentrischem Gewicht

In der untenstehenden Abbildung 69 und Abbildung 70 sieht man etwas besser im Detail die erhöhte Spannung. Zudem sieht man die Unterschiede der Spannungen von der Stütze, welche sich auf der Seite des Gewichtes befindet gegenüber der Gegenseite.

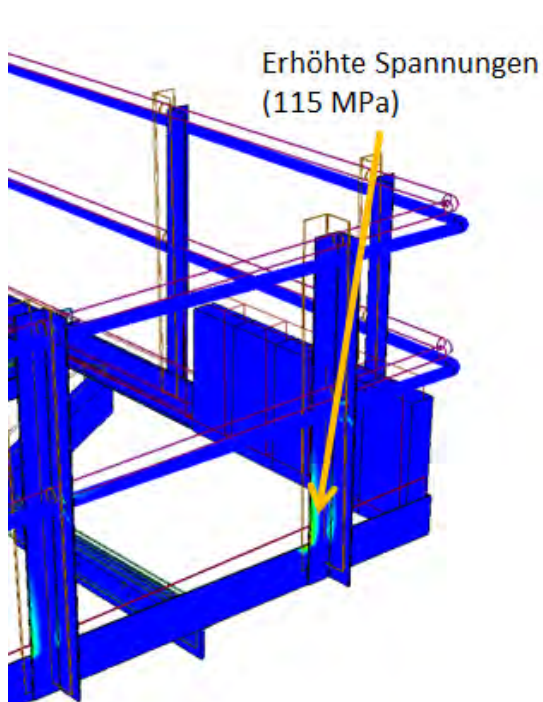


Abbildung 69: Äussere Stütze auf Gewichtsseite

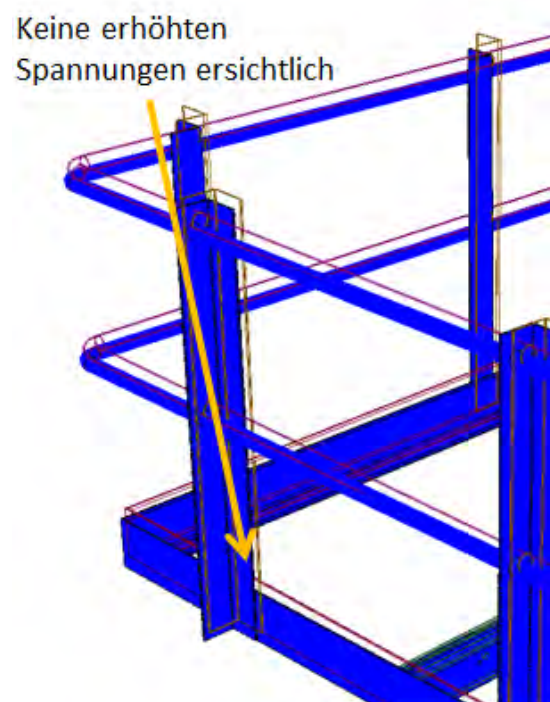


Abbildung 70: Äussere Stütze auf unbelasteter Seite

3.6.4 Simulation der statischen Festigkeit der Gesamtkonstruktion

Die gleichen Kontrollen wie bei der Plattform wurden auch bei der Gesamtkonstruktion durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde die Plattform gleichmässig mit 300kgm^{-2} belastet. Dieses Mal wollte man aber schauen, wie sich die restliche Konstruktion, das heisst die Führungsrohre, der Sockel etc. verhalten. Die zweite Simulation wurde wiederum mit einer exzentrischen Belastung durchgeführt.

3.6.4.1 Definieren der Fixpunkte

Als Fixpunkte für die statische Simulation wählte man nur die Bereiche des Sockels, welche vom Beton umschlossen sind (Abbildung 71). Die Kontaktpunkte mit der Brücke wurden extra nicht in Betracht gezogen, da auf die Brücke im Prinzip gar keine Kräfte wirken dürfen.

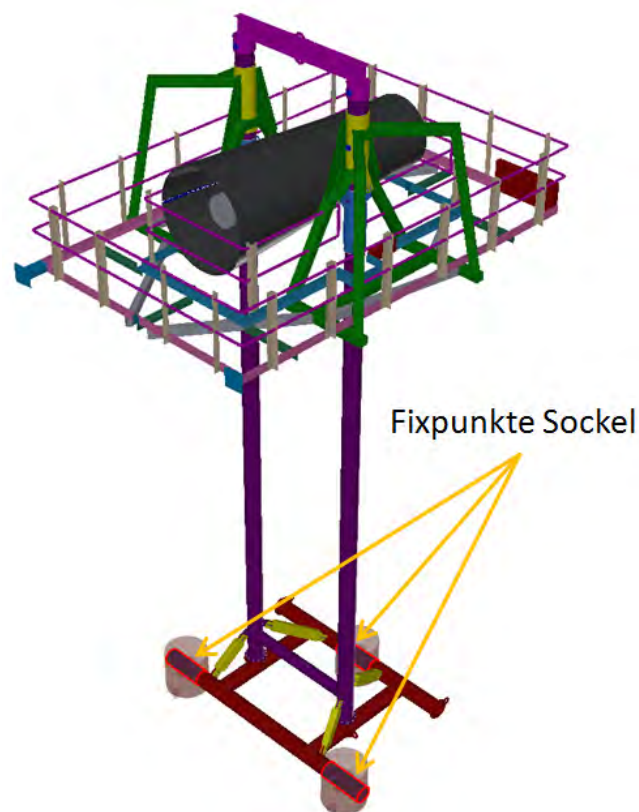


Abbildung 71: Fixpunkte der Konstruktion für statische Analyse

3.6.4.2 Netzanalyse

Als Netzgrösse für die durchschnittliche Elementgrösse wählte man wieder 0.08. Die ganze Netzanalyse der Plattform findet man im Kapitel 3.5.2.2.

3.6.4.3 Simulation

Bei dieser Simulation wurde überprüft, wie sich die restliche Konstruktion bei einer gleichmässigen Belastung von 300kgm^{-2} verhält. Durch die Simulation sah man, dass die auftretenden Spannungen nicht allzu hoch sind. Grösstenteils liegt die Spannung unter 40 MPa. Einzig bei der Verbindung von den Stützrohren zum Führungsrohr gibt es eine etwas erhöhte Spannung (Abbildung 72).

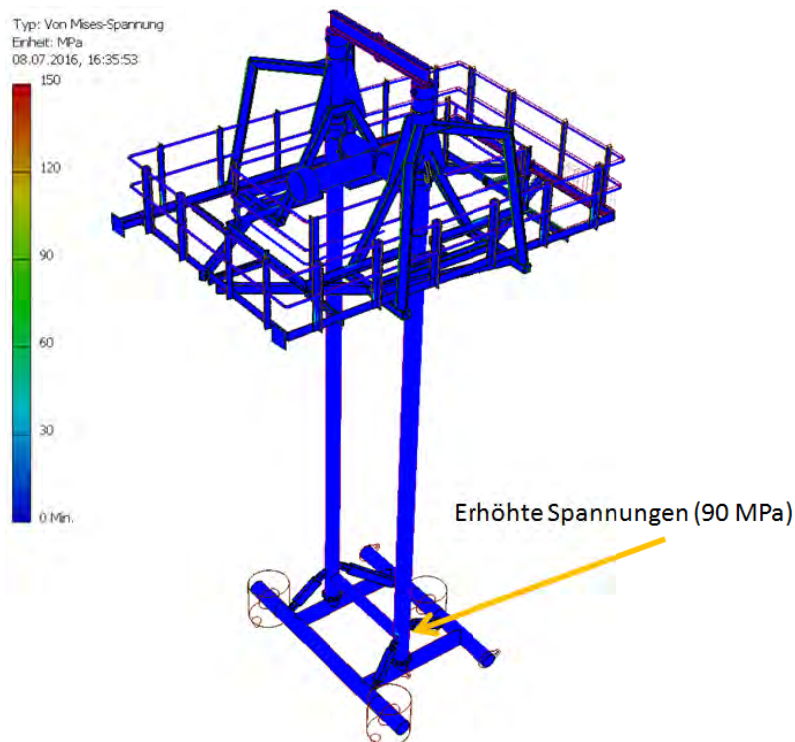


Abbildung 72: Ergebnis der Simulation für eine gleichmässige Belastung

Wie man aber auf Abbildung 73 sieht, sind maximale Spannung beim Sockel bei ungefähr 100 MPa. Diese Grössenordnung der Spannungen stellt für Stahl aber kein Problem dar.

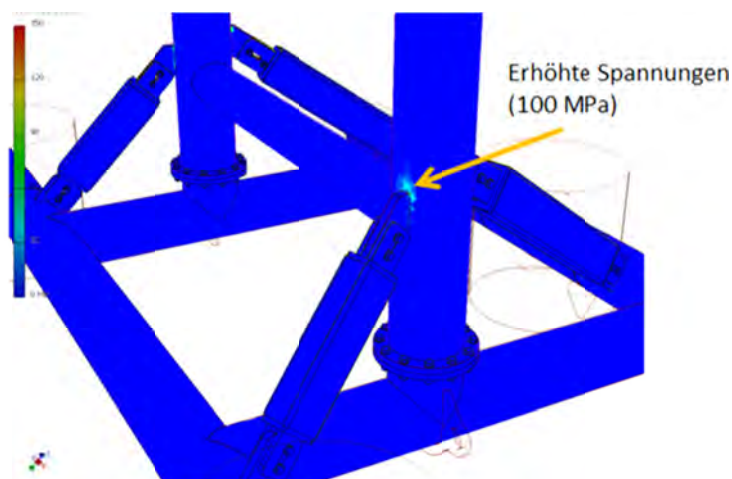


Abbildung 73: Spannungen im Sockel bei gleichmässiger Belastung

Bei der nächsten Simulation überprüfte man, wie sich die restliche Konstruktion bei einer punktuellen Last von fünf Personen (450kg) und dem Elektroschrank verhält (80 kg).

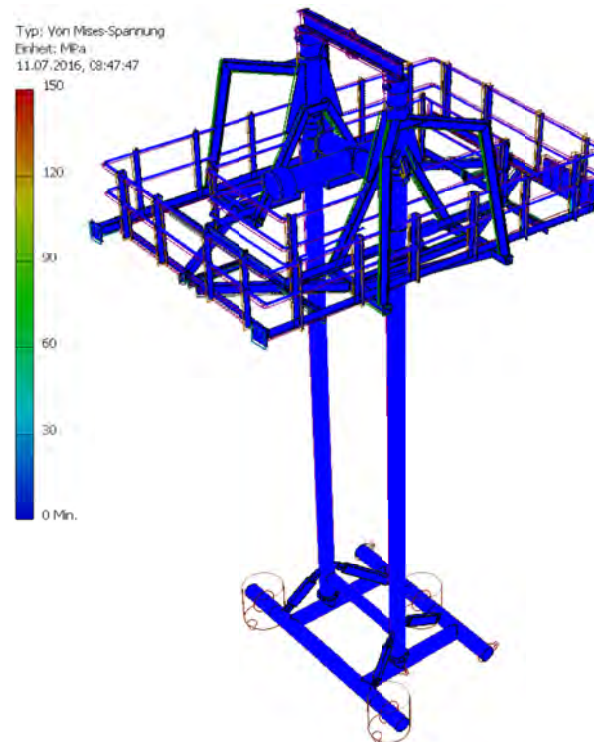


Abbildung 74: Simulationsergebnis bei exzentrischer Belastung

Wie man auf der Abbildung 74 sieht, gibt es bei einer punktuellen Belastung von 450 kg keine grossen Spannungsunterschiede im Vergleich zur gleichmässigen Belastung (siehe Abbildung 72). Dies ist aber insofern erklärbar, da die gleichmässige Belastung bereits von 300 kgm^{-2} ausging und es somit nur eine Erhöhung um den Faktor 1.5 gab. Zudem liegt die Gesamtbelastung um ein vielfaches tiefer, da im Totalen nur 450 kg plus den Elektroschrank auf die Plattform wirkten, statt circa 5.3 Tonnen wie bei der gleichmässigen Belastung. Zum Vergleich: Auf Abbildung 75 kann man keine erhöhten Spannungen mehr erkennen.

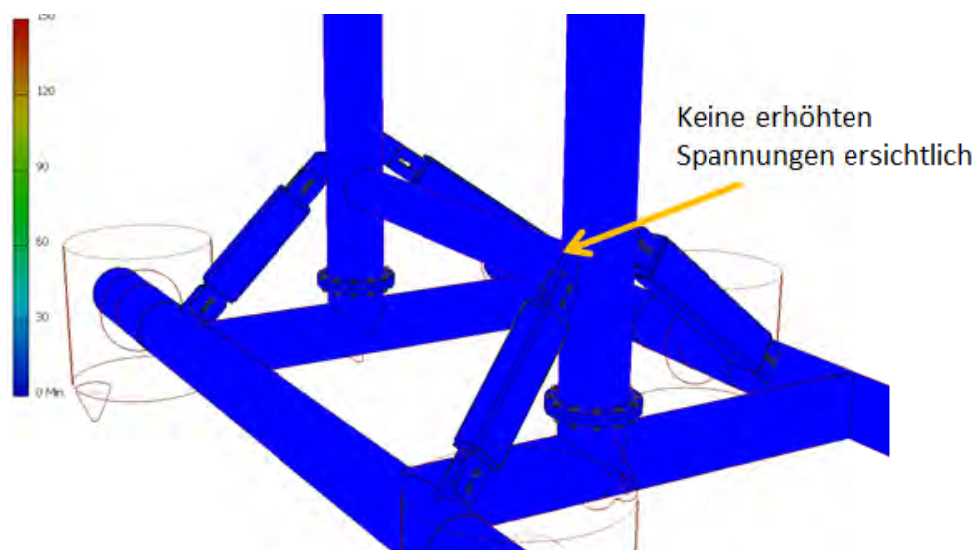


Abbildung 75: Spannungen beim Sockel bei punktueller Belastung

4 Berechnungen

4.1 Dimensionierung der Stahlseile

Die gesamte Befestigungsstruktur wird im Totalen mittels vier Kabeln befestigt. Zwei Kabel sorgen dafür, dass sich die Konstruktion nicht senkrecht zur Flussrichtung bewegen kann. Die zwei anderen Kabel dienen dazu, die Kraft, welche vom Wasser in Flussrichtung ausgeübt wird, aufzunehmen. Bei den nachstehenden Berechnungen bezog man sich aber nur auf die Seile, die die Wasserkraft aufnehmen. Die höchste Belastung auf die Seile hat man im Moment, wenn die Turbine vollständig im Wasser eingetaucht ist. Für die Seildimensionierung wird der schlimmste Fall angenommen, in diesem Fall bedeutet dies, dass die Reibung zwischen Sockel und Untergrund null ist. Dadurch müssten alle Kräfte von den zwei Stahlseilen aufgenommen werden.

4.1.1 Maximale Kraft im Seil

Die benützte Formel zur Berechnung der Kraft ist die folgende:

$$F_{Wasser} = \frac{\rho * c_w * A_{tot} * v^2}{2} \quad (9)$$

Die Fläche, die für diese Berechnung benützt wird, ist die projizierte Fläche des unter Wasser stehenden Teils der Befestigung. Damit man den schlimmsten aller möglichen Fälle hat, nimmt man an, dass die ganze Konstruktion um 20° geneigt ist, dadurch erhöht sich die projizierte Fläche ein wenig. Für die Berechnung wird aber zwischen Befestigung und Turbine aufgrund unterschiedlicher Widerstandsbeiwerte unterschieden.

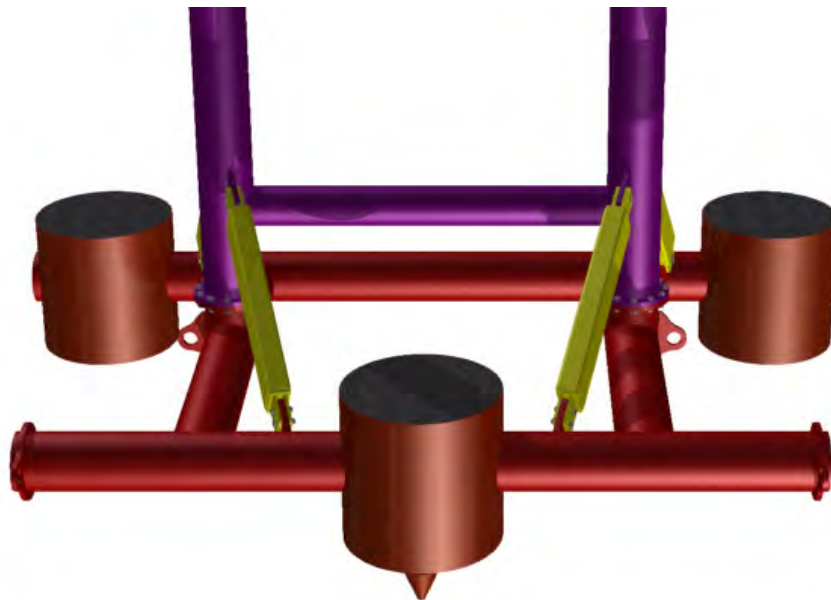


Abbildung 76: Ansicht Sockel bei 20° Neigung

Mit Hilfe vom Inventor kann nun die ungefähre projizierte Fläche des Sockels bestimmt werden. Die Fläche der Führungsrohre wird berechnet.

Dabei findet man:

$$A_{tot} = A_{Sockel} + A_{Führungsrohr} \quad (10)$$

$$A_{tot} = 5.6m^2 + 0.2985m * 3.5m * \cos(20) * 2$$

$$A_{totBefestigung} = 7.6m^2$$

Die weiteren verwendeten Werte sind:

Maximale Strömungsgeschwindigkeit. $v = 2.1 \text{ ms}^{-1}$; Widerstandsbeiwert für Zylinder $C_w = 1.1$

$$F_{WasserBefestigung} = \frac{\rho_{Wasser} * C_w * A_{totBefestigung} * v^2}{2} = 18'345N \approx \mathbf{18'300N}$$

Für die Turbine wird die gleiche Rechnung wiederholt, um den Einfluss der Neigung zu bestimmen, multipliziert man zur Vereinfachung auch mit $\cos(20)$, statt die Ellipsenformel zu verwenden.

$$A_{Turbine} = \frac{(1.6m)^2 * \pi}{4} * \cos(20) = 1.88 m^2$$

Für die Turbine nimmt man die gleiche Wassergeschwindigkeit $v = 2.1 \text{ ms}^{-1}$, als Widerstandsbeiwert wählt man den einer Scheibe $C_{wTurbine} = 1.5$

$$F_{WasserTurbine} = \frac{\rho_{Wasser} * C_{wTurbine} * A_{Turbine} * v^2}{2} = 6'218N \approx \mathbf{6'200N}$$

Durch Addition der beiden Kräfte erhält man die Gesamtkraft.

$$F_{Wasser} = F_{WasserBefestigung} + F_{WasserTurbine} = 18'300N + 6'200N = \mathbf{24'500N} \quad (11)$$

Diese Kraft entspricht der Kraft, welche das Wasser auf die Turbine und die gesamte Konstruktion ausübt. Die Seile werden aber nicht in Flussrichtung montiert, sondern schräg da sie von der Mitte bis zum Kanalufer gespannt sind. Dies hat zur Folge, dass die nötige Seilkraft in Komponenten aufgeteilt wird.

Da im Normalfall nie beide Seile gleich belastet sind, wird angenommen, dass ein Seil bis zu zwei Drittel der Kraft aufnehmen muss.

$$F_{WasserproSeil} = F_{Wasser} * \frac{2}{3} = 24'500 N * \frac{2}{3} = 16'333 N \approx \mathbf{16'500 N} \quad (12)$$

Für die Seillänge wählte man für die Berechnung vierzig Meter, da man so eine gute Mischung zwischen Seillänge und Kraftkomponenten hat. Da die Turbine in der Mitte montiert wird, kann angenommen werden, dass beide Seile gleich lang sind.

Das Seil hat dadurch, dass es am Kanalufer befestigt bzw. nicht mehr parallel zu Flussrichtung geführt wird, eine grösser wirkende Kraft. Diese Komponenten werden im Folgenden berechnet:

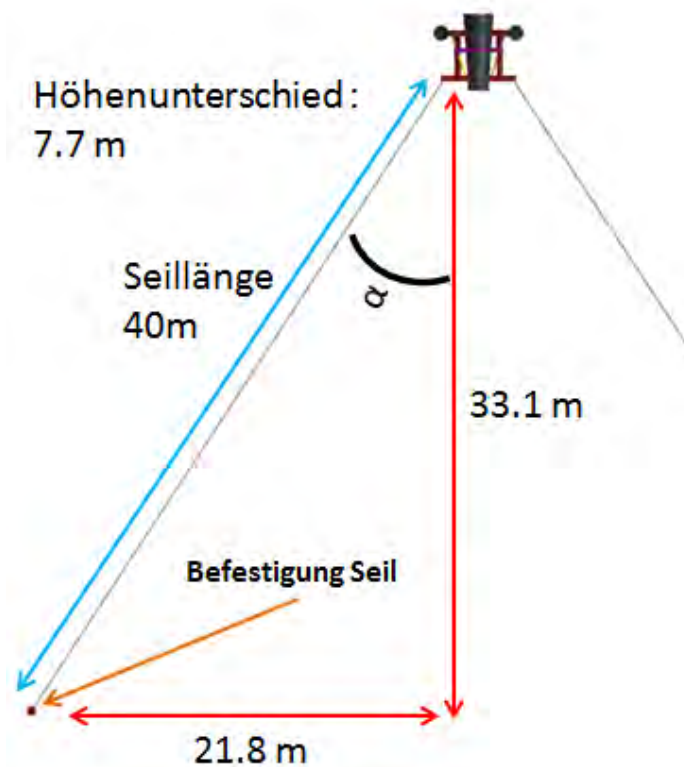


Abbildung 77: Schema Seilpositionierung

Der Winkel α beträgt für den in Abbildung 77 dargestellten Fall 33.3° . Durch Division der Kraft $F_{\text{Wasser pro Seil}}$ durch den Cosinus des Winkels α erhält man die Kraft in der Ebene.

$$F_{\text{SeilEbene}} = \frac{F_{\text{Wasser pro Seil}}}{\cos(\alpha)} = \frac{16'500N}{\cos(33.3^\circ)} = 19'750N \quad (13)$$

Um die schlussendliche Kraft im Seil zu erhalten, muss nochmals durch den Cosinus dividiert werden. Dies weil das Seil nicht in einer Ebene liegt, sondern schräg. Der Winkel für die Höhe β beträgt 11° .

$$F_{\text{SeilMAX}} = \frac{F_{XY}}{\cos(\beta)} = \frac{19'750N}{\cos(11^\circ)} = 20'120N \quad (14)$$

4.1.2 Reelle Gewichtskraft

Da Konstruktionen, welche sich im Wasser befinden, immer an Gewicht verlieren, wäre es auch bei dieser Konstruktion interessant zu sehen, wie gross die verlorene Masse ist.

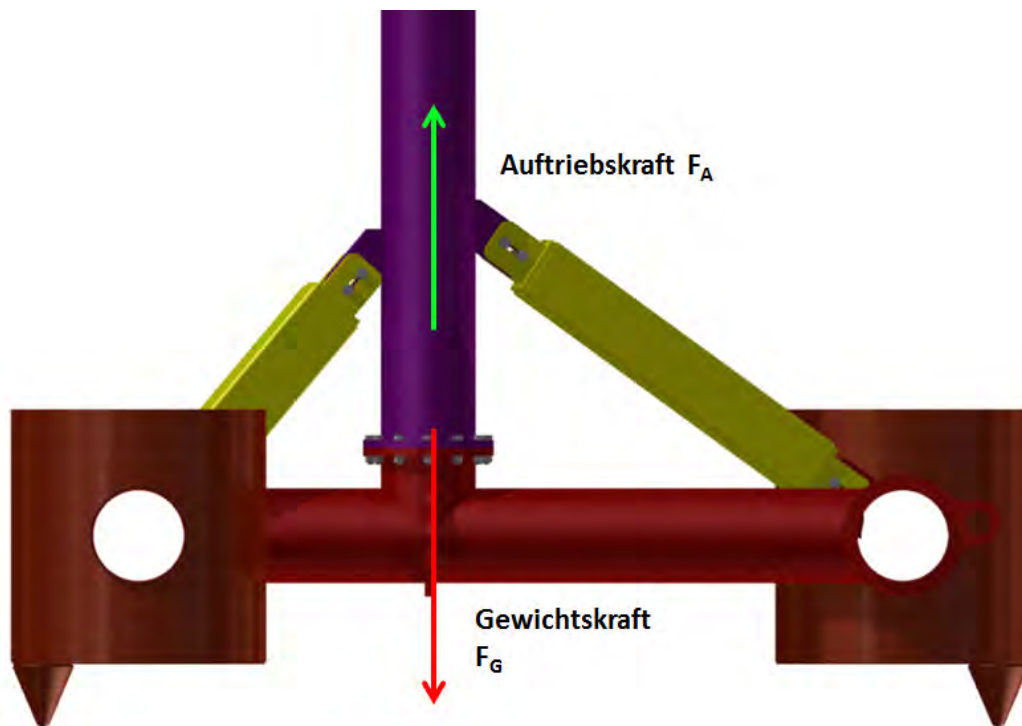


Abbildung 78: Schema Auftriebskraft

Die reelle Gewichtskraft im Wasser ist das Eigengewicht minus die Auftriebskraft des Wassers.

$$F_{G_{real}} = F_G - F_{Archimedes} \quad (15)$$

$$F_{G_{real}} = F_G - V_{tot} * \rho_{Wasser} * g$$

Das Gewicht der Gesamtkonstruktion beträgt ca. 12 Tonnen.

$$F_G = 12'000kg * 9.81ms^{-2} \approx 120'000N$$

Das Verdrängungsvolumen setzt sich aus allen Teilen zusammen, die sich unter Wasser befinden. Hierbei muss aber erwähnt werden, dass manche Rohre vom Wasser geflutet werden und dadurch nur einen kleinen Beitrag zum Verdrängungsvolumen dazusteuern.

$$V_{tot} = V_{Sockel} + 2 * V_{Führungrohr} + V_{Verstrebungsquer} + 4 * V_{Stützen}. \quad (16)$$

Die weiteren Werte sind nötig zur Berechnung des Volumens. Für die Stützenlänge wurde ein durchschnittlicher Wert angenommen.

$$V_{tot} = 1.55m^3 + 2 * \frac{(0.2985m)^2 * \pi}{4} * 4.3m + \frac{(0.2191m)^2 * \pi}{4} * 2.2m + 4 * 0.2m * 0.12m * 0.85m$$

$$V_{tot} = 2.3m^3$$

Durch diese Berechnung erhalten wir den folgenden Wert für die Normalkraft der Konstruktion auf den Untergrund:

$$F_{G_{real}} = 120'000N - 2.3m^3 * 1'000kgm^{-3} * 9.81ms^{-2} = 97'437 N \approx \mathbf{97'400N}$$

Man sieht, dass man circa 23'000 N oder 2.3 Tonnen durch die Auftriebskraft verloren hat. Dieser Wert entspricht in etwa einem Sechstel des Gesamtgewichtes. Das Restgewicht bleibt aber genügend gross, um eine gute Standfestigkeit zu garantieren.

4.2 Kontrolle des Anpressdruckes nach der Seilmontage

Die Problematik bei der Fixierung der Ösen für die Seilbefestigung besteht darin, dass je nach Position der Ösen die ganze Stahlkonstruktion durch die Seilkraft ein wenig angehoben bzw. gekippt werden könnte und somit in einen instabilen Zustand geraten könnte. Die Ösen werden an der vorderen Seite des Sockels befestigt. In diesem Fall könnte es unter Umständen Probleme mit der Anpresskraft des vorderen Sockels geben.

Um diese Kontrolle durchzuführen, muss das Moment berechnet werden, welches die Seile auf die Gesamtkonstruktion ausüben. Schlussendlich kann man an der Kraft $F_{Anpress}$ erkennen, wie sich die Konstruktion verhält. Solange $F_{Anpress} > 0$ bleibt die Stahlkonstruktion in Position und dreht nicht um den Punkt A.

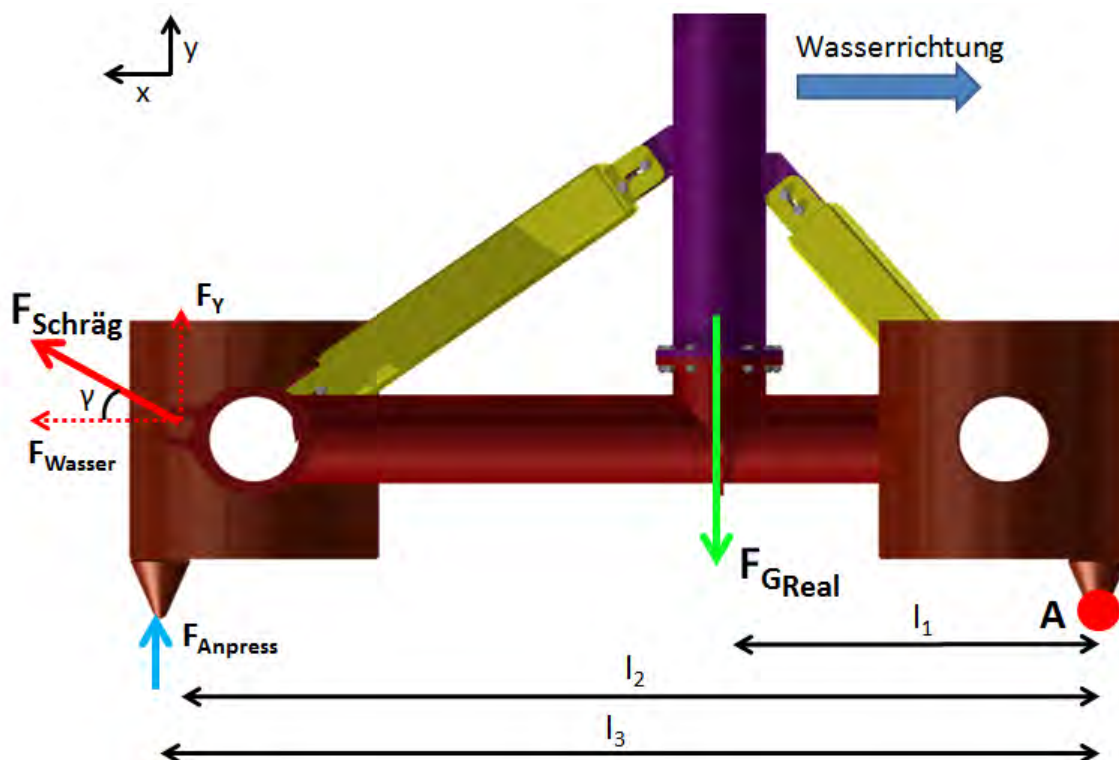


Abbildung 79: Kräfteverteilung im Fall, dass die Kabel gespannt sind

$$\sum M_A = 0 = F_{G_{Real}} * l_1 - F_{Anpress} * l_3 - F_Y * l_2 \quad (17)$$

$$F_{Anpress} = \frac{F_{GReal} * l_1 - F_Y * l_2}{l_3} \quad (18)$$

Bei der Berechnung spielt es keine Rolle, dass es am Sockel zwei Stahlseile gibt. Für die Berechnung wird angenommen, dass alles nur mit einem Kabel gehalten wird, welches sich in der Mitte befindet. Denn die Komponenten in Z-Richtung spielen in dieser Berechnung keine Rolle. Der Winkel γ wird mit Hilfe der Abbildung 77 bestimmt. Dabei in Betracht gezogen werden nur der Höhenunterschied (7.7 m) und die Länge in Flussrichtung (33.1 m).

$$\gamma = \arctan\left(\frac{7.7 \text{ m}}{33.1 \text{ m}}\right) = 13.1^\circ$$

Die Kraft F_Y wird wie folgt berechnet:

$$F_Y = F_{Wasser} * \tan(\gamma) \quad (19)$$

Wie bereits im Kapitel 4.1 erwähnt, wird angenommen, dass die ganze Kraft, die vom Wasser auf die Konstruktion ausgeübt wird, nur von den Seilen aufgenommen werden. In der Realität wird es aber noch einen Reibungswiderstand der Konstruktion gegenüber dem Boden geben. Da der Reibungskoeffizient bzw. die Beschaffenheit des Kanalgrundes aber nicht bekannt ist und wir den schlimmsten Fall berechnen wollen, wurde die Reibungskraft ganz weggelassen.

Die nötigen numerischen Werte lauten:

F_{Wasser} : 24'500 N, $\gamma = 13^\circ$

$$F_Y = 24'500 \text{ N} * \tan(13) = 5'650 \text{ N}$$

Die Berechnung erfolgt mit den folgenden numerischen Werten:

$l_1 = 1'310 \text{ mm}$, $l_2 = 2'900 \text{ mm}$, $l_3 = 3'000 \text{ mm}$, $F_{GReal} = 97'400 \text{ N}$,

$$F_{Anpress} = \frac{97'400 \text{ N} * 1'310 \text{ mm} - 5'650 \text{ N} * 2'900 \text{ mm}}{3'000 \text{ mm}} = 37'070 \text{ N} \cong 37'100 \text{ N}$$

Somit sieht man, dass auch unter Anwendung einer Zugkraft in den Kabeln die Konstruktion immer fest mit dem Boden verbunden bleibt und keine Gefahr besteht, dass sie aufgrund der Kabelkraft kippen könnte.

4.3 Knickung

Die einzigen Bauteile der gesamten Konstruktion, welche man auf Knickung kontrollieren musste, waren die Führungsrohre, da diese sehr lang (circa zwölf Meter) und im Vergleich relativ dünn (0.2985m) sind.

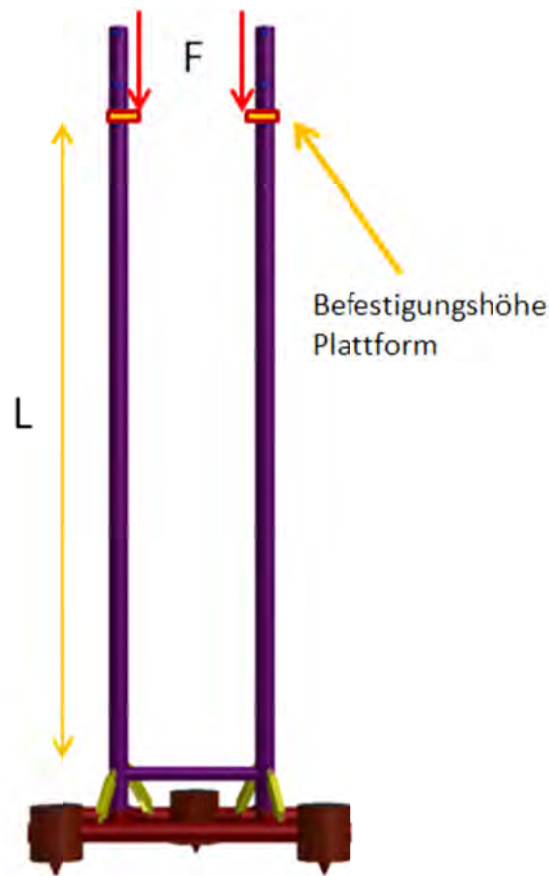


Abbildung 80: Führungsrohre mit Sockel

In einem ersten Schritt wurde für eine Art Vorkontrolle eine sehr vereinfachte Berechnung durchgeführt (Knickung nach Euler). Das heisst, dass die Einflüsse des Wassers bzw. der Wasserkraft, welche eine seitliche Kraft auf die Führungsrohre ausüben, vernachlässigt wurden. Zudem werden die Profile als perfekt senkrecht angesehen.

Dazu wurde mit der folgenden Formel gearbeitet:

$$F = \frac{\pi^2 EI_z}{(sL)^2} \quad (20)$$

F= Maximal anwendbare Kraft bevor es knickt [N]

E= E-Modul von Stahl [MPa]

I_z = Trägheitsmoment [mm⁴]

s= Faktor der von der Art der Einspannung abhängt [-]

L= Länge des Profils [mm]

Auf der Abbildung 81 sieht man, welche Fälle für die Einspannung bei der vereinfachten Methode unterschieden werden. Bei der Befestigungskonstruktion mit den Führungsrohren wählte man den Fall 3 (0.699), da die Rohre über die Plattform mit der Brücke verbunden sind.

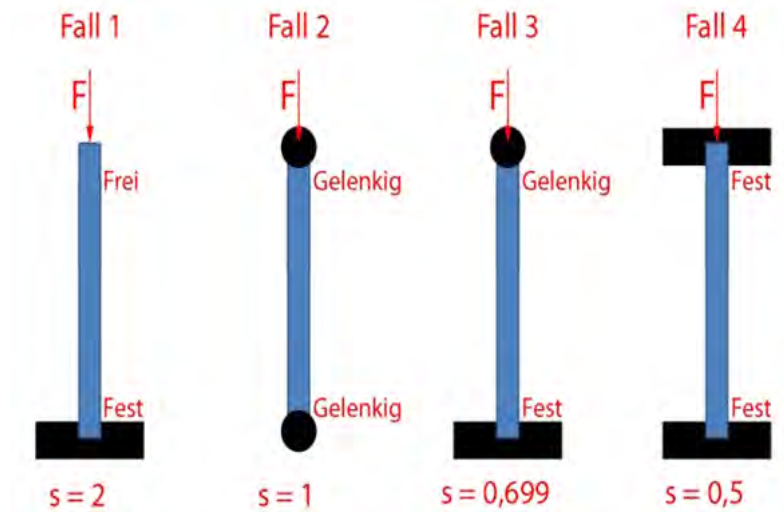


Abbildung 81: Verschiedene Einspannmöglichkeiten für Knickung

Die weiteren Werte, welche man für die Berechnung brauchte, waren die folgenden:

E- Modul von Stahl= 210'000 MPa, Trägheitsmoment $I_z = 69'031'073 \text{ mm}^4$, Länge des Rohrprofiles= 10'100 mm

$$F = \frac{\pi^2 * 210'000 \text{ MPa} * 69'031'073 \text{ mm}^4}{(0.699 * 10'100 \text{ mm})^2} = 2'870'560 \text{ N}$$

Damit man diese Kraft besser einordnen kann, wurde sie mit der tatsächlichen auftretenden Kraft verglichen, was im Prinzip dem Sicherheitsfaktor entspricht. Die in Wirklichkeit auf die Führungsrohre wirkende Kraft entspricht dem Gewicht der Plattform (mit 5 Personen) plus das Gewicht der Turbine mit Support, sowie dem Trägerbalken. Da in der Berechnung aber nur die Kraft für ein Rohr benötigt wird, wird das Ganze nochmals durch zwei geteilt. Das ergibt für $F_{\text{tatsächlich}}$ ungefähr 25'000 N

$$SF = \frac{F}{F_{\text{tatsächlich}}} = \frac{2'870'560 \text{ N}}{25'000 \text{ N}} = 115 \quad (21)$$

Wie man aus der Gleichung 18 sieht, besteht in diesem Annahmefall kein Risiko, dass es knicken könnte. Im Normalfall werden die Führungsrohre nicht zu hundert Prozent rechtwinklig zur Belastungsrichtung sein, sondern durch das Eigengewicht bereits ein bisschen gebogen. Dies wird die nötige Kraft für die Knickung ein wenig verkleinern. Aber mit dem hohen Sicherheitsfaktor, welchen man mit der eulerschen Formel herausgefunden hat, besteht auch unter Annahme, dass die Führungsrohre etwas gebogen sind, keine Gefahr.

4.4 Tauchverhalten der Turbine

Um einen optimalen Wasserfluss um die Turbine herum zu haben, ist es wichtig, dass es keine starken Durchmesserübergänge gibt. Diese würden unter anderem starke Turbulenzen verursachen, was zu einem tieferen Gesamtwirkungsgrad führen würde. Aus diesem Grund wurde um die Turbine ein Mantel gelegt. Dies führt aber dazu, dass es zwischen dem Gehäuse und dem Mantel einen Leerraum gibt. Dieser Leerraum würde sich ähnlich verhalten wie die Luft in einem Gummiboot. Das heisst, dass diese Luft einen zusätzlichen Auftrieb darstellen würde, welcher der Gewichtskraft der Turbine und somit dem Tauchen, entgegen wirken würde.

Um sicher zu sein, dass die Turbine taucht, wurde eine Berechnung der Auftriebskraft ($F_{\text{Archimedes}}$) durchgeführt. Zur Vereinfachung wurde in den Berechnungen nur der Raum zwischen dem Gehäuse und dem Mantel als Leerraum angesehen. Die Hohlräume im Kern der Turbine wurden nicht in Betracht gezogen, da diese im Verhältnis nur sehr klein sind.

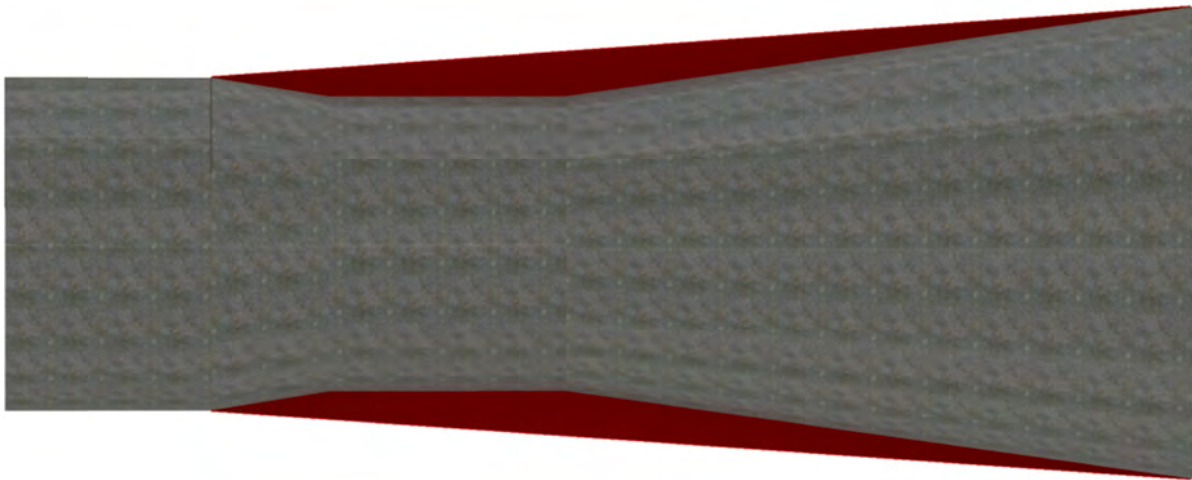


Abbildung 82: Turbine mit dem Leerraum in Rot

Das verdrängte Volumen setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Einerseits dem Leerraum und andererseits vom Gehäuse selber. Zur Bestimmung des Volumens des Leerraums wurde dieser nachgezeichnet und anschliessend konnte bei den Werkstückeigenschaften das Volumen herausgelesen werden. Auf die gleiche Art wurde das Volumen des Gehäuses bestimmt.

Dabei erhielt man die folgenden Werte:

$$V_{\text{Leerraum}} = 1.06\text{m}^3, V_{\text{Gehäuse}} = 0.13\text{m}^3$$

$$V_{\text{verdrängt}} = V_{\text{Leerraum}} + V_{\text{Gehäuse}} = 1.06\text{m}^3 + 0.13\text{m}^3 = 1.19\text{m}^3 \quad (22)$$

Die Berechnung der Auftriebskraft erfolgt über die nachstehende Formel:

$$F_{\text{Archimedes}} = V_{\text{verdrängt}} * \rho * g \quad (23)$$

Die Dichte des Wasser beträgt $1'000\text{kgm}^{-3}$ und die Erdbeschleunigung 9.81ms^{-2} .

$$F_{\text{Archimedes}} = 1.19\text{m}^3 * 1'000\text{kgm}^{-3} * 9.81\text{ms}^{-2} = 11'673.9\text{N} \quad (24)$$

Zum Vergleich: Die Turbine wiegt circa 1'000 kg, was einer Gewichtskraft F_{GTurbine} von ungefähr 9'800N entspricht. Das bedeutet, dass die Turbine in diesem Fall gar nicht in das Wasser eintauchen würde, sondern an der Wasseroberfläche bleiben würde.

Damit man dieses Problem einfach umgehen kann, werden in den Mantel auf der Ober- und Unterseite vereinzelt Löcher gebohrt, damit sich der Mantel mit Wasser füllen und sinken kann.

4.5 Dimensionierung des Flaschenzuges

Die Aufgabe des Flaschenzuges besteht darin, dass die Turbine ohne grosse Anstrengungen ins Wasser gelassen bzw. aus dem Wasser gehoben werden kann. Die grösste Belastung tritt dann auf, wenn die Turbine aus dem Wasser auftaucht. In diesem Fall müssen mit Hilfe des Flaschenzuges drei Kräfte überwunden werden.

- Gewichtskraft der Turbine ($F_{GTurbine}$)
- Reibungskraft der Führungen ($F_{Reibung}$)
- Gewichtskraft des Wassers innerhalb der Turbine ($F_{GWasser}$)

Diese drei Kräfte variieren aber in Funktion der Höhe, welche sich bereits nicht mehr im Wasser befindet. Denn je weniger sich von der Turbine im Wasser befindet, desto kleiner wird die Reibkraft, da die vom Wasser ausgeübte Kraft auch kleiner wird. Die Gewichtskraft des Wassers nimmt stetig ab, da das Wasser abfließt und die Gewichtskraft der Turbine selber immer grösser wird, da die Auftriebskraft aufgrund des kleiner werdenden verdrängten Volumens abnimmt.

Um auf der sicheren Seite zu sein, werden alle Werte als maximal angenommen. Das bedeutet:

$$F_{max} = F_{GTurbine} + F_{Reibung} + F_{GWasser} \quad (25)$$

Zur Berechnung der Reibungskraft wird eine Anpresskraft $F_{Anpress}$ der Turbine von 6'650N gewählt. Dies entspricht der Kraft des Wassers, welches auf die Turbine bei einer Wassergeschwindigkeit von 2.1ms^{-1} ausgeübt wird. Als Reibungskoeffizient μ wird 0.25 gewählt (Verzinkter Stahl – POM).

$$F_{Reibung} = F_{Anpresskraft} * \mu = 6'650 \text{ N} * 0.25 = 1'662\text{N} \cong 1'700\text{N} \quad (26)$$

Um $F_{GWasser}$ zu berechnen, wird das Volumen des Leerraums $V_{Leerraum}$ (siehe Kapitel 0) mit der Dichte des Wassers multipliziert.

$$F_{GWasser} = V_{Leerraum} * \rho_{Wasser} * g = 1.06\text{m}^3 * 1'000\text{kgm}^{-3} * 9.81\text{ms}^{-2} = 10'400\text{N} \quad (27)$$

Das ergibt als Maximalkraft auf den Flaschenzug:

$$F_{max} = 9'800 \text{ N} + 1'700 \text{ N} + 10'400 \text{ N} = 21'900\text{N} \quad (28)$$

Die Gesamtkraft F_{max} entspricht circa 2'250 kg. Für einen gängigen Flaschenzug stellt dieses Gewicht kein Problem dar. Aufgrund von dieser Berechnung nahm man anschliessend den nächstgrösseren Flaschenzug. Dieser hat eine Tragfähigkeit von 3'000 kg (Siehe Anhang 2)

5 Schluss und Ausblick

5.1 Abklärung für die Zertifizierung

Für die Zertifizierung der gesamten Konstruktion bezieht man sich hauptsächlich auf die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Dabei handelt es sich um die Neufassung der Richtlinie 95/16/EG. In dieser Richtlinie wird im Detail erläutert auf welche Art und Weise eine Maschine gebaut werden muss, damit sie die grundlegenden Anforderungen zur Sicherheit erfüllt. [4]

Für die Versuchsplattform konzentriert man sich vor allem auf den Anhang 1 der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Der Anhang 1 befasst sich nämlich speziell mit den Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen für die Konstruktion und den Bau von Maschinen. Im Anhang 1 muss man in erster Linie mit den Kapiteln 1 (Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen), Kapitel 3 (Gefahren, die von der Beweglichkeit der Maschine ausgehen) und Kapitel 4 (Gefahren, die von Hebevorgängen ausgehen) arbeiten. (Siehe Anhang 3)

In diesen Kapiteln wird speziell aufgezeigt, welche Sachen man erledigen muss, um eine Konstruktion wie die Versuchsplattform zu konstruieren.

Im Folgenden werden einige speziell zu beachtende Punkte herausgenommen.

- Risikoanalyse
- Gebrauchsanleitung
- Allgemeine Informationen

Risikoanalyse (Anhang 1 der Richtlinie 2006/42/EG, Allgemeine Grundsätze):

Bei der Risikoanalyse geht es darum, dass der Hersteller der Maschine bzw. der Konstruktion alle geltenden nötigen Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen ermittelt. Das bedeutet:

- Grenzen der Maschinen bestimmen
- Gefährdungen, die von der Maschine ausgehen
- Abschätzen des Risikos mit in Betracht ziehen der Schwere der Verletzungen und der Wahrscheinlichkeit des Eintretens
-

Gebrauchsanleitung (Anhang 1 der Richtlinie 2006/42/EG, Kapitel 1.7.4):

Die Gebrauchsanleitung der Maschine / Konstruktion muss in allen Amtssprachen des Landes geschrieben werden.

Allgemeine Informationen (Anhang 1 der Richtlinie 2006/42/EG, Kapitel 1.7.4):

Jede Maschine oder Konstruktion muss folgende Angaben, gut erkennbar, deutlich lesbar und dauerhaft angebracht, enthalten.

- Firmenname
- Bezeichnung der Maschine
- Baujahr
- ...

5.2 Perspektive

Im Moment befindet man sich beim Projekt „Entwicklung einer Durchströmturbine für künstliche Gewässer“ ungefähr in der Mitte. Bei der Konstruktionsphase ist man aber bereits fast am Ende angelangt. Der grosse Teil der Struktur ist bereits beendet. Es bleiben nur noch einige Details zu erledigen, so fehlen zum Beispiel noch Bauteile wie Abstandshalter, welche nur zum Transport benötigt werden. Des Weiteren müssen die Werkstattzeichnungen, welche grösstenteils schon in den ersten drei Wochen der Diplomarbeit angefertigt worden sind, kontrolliert und gegebenenfalls aktualisiert werden.

Der nächste grosse Schritt wird nun die Herstellung der gesamten Versuchsplattform sein. Mit dieser Phase wird im Verlauf der nächsten Wochen gestartet. Anschliessend wird die ganze Konstruktion in Lavey montiert und in Betrieb genommen. In den darauffolgenden Wochen werden verschiedene Tests mit der Turbine durchgeführt, damit die Turbine auf ihre Funktionsfähigkeit bzw. ihr Leistungspotential überprüft werden kann.

Der letzte Teil des Projektes besteht darin, die Turbine in Lavey wieder zu demontieren und die verschiedenen Tests, welche vor Ort gemacht worden sind, auszuwerten.

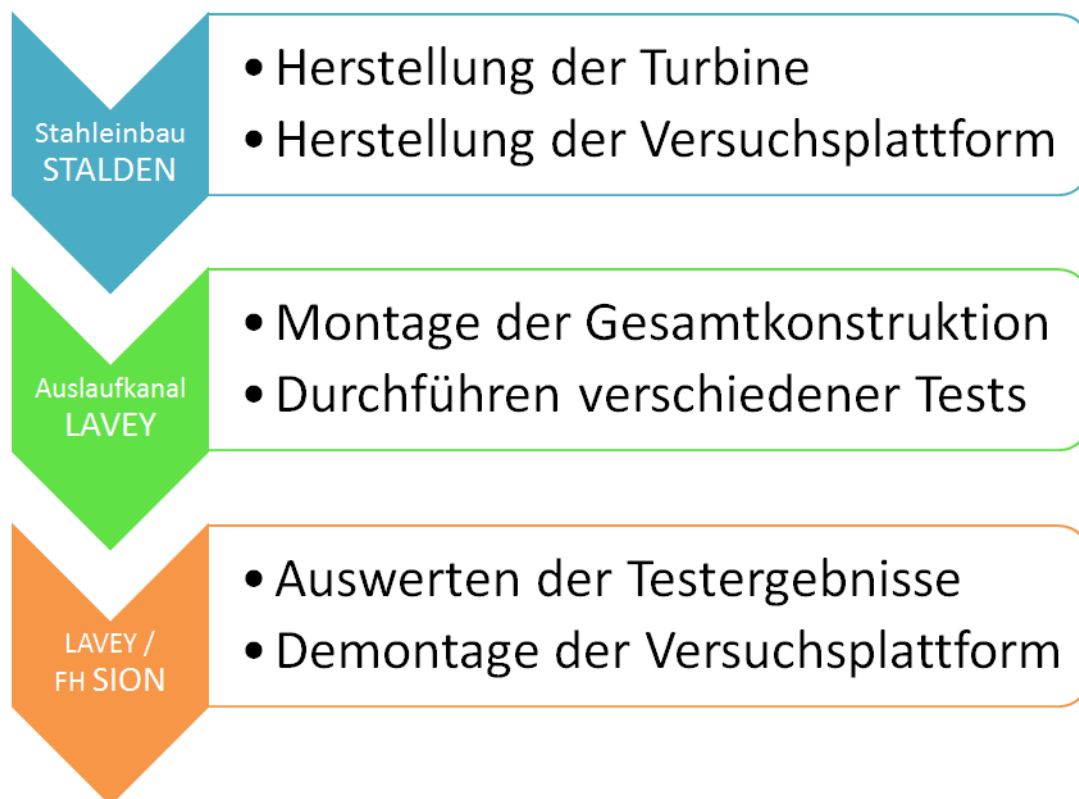


Abbildung 83: Weitere Phasen des Projektes

5.3 Schlusswort

Nach dem die Konstruktion in einer ersten Version gezeichnet war, begann man mit den verschiedenen Simulationen. Bei den statischen Analysen der Versuchsplattform sah man bereits nach den ersten FEM- Analysen, dass die Konstruktion bezüglich der statischen Festigkeit genügend stabil konstruiert wurde und es keine weiteren Veränderungen bzw. Verbesserungen gebraucht hat. Die maximalen von Mises Spannungen bewegten sich in einem Bereich von rund 100 MPa und blieben somit deutlich unter der Streckgrenze von Stahl. In einer zweiten Analysephase widmete man sich den Modalanalysen. Hierbei wurde deutlich aufgezeigt, wie wenig die statische Festigkeit mit der dynamischen Festigkeit zu tun hat. Die Versuchsplattform hatte Eigenfrequenzen, welche sich im Bereich von 1.5 – 2.5 Hz bewegten. Dies ist sehr gefährlich, da diese Frequenzen in etwa den Schrittfrequenzen von Personen entsprechen. Dadurch wurde es nötig, die ganze Konstruktion zu verstärken bzw. zu versteifen. Durch Hinzufügen von Verstärkungen und einzelnen Abänderungen am Podest, war es möglich die Eigenfrequenzen der Versuchsplattform in einen akzeptablen Bereich zu heben. Gemäss Richtlinien des schweizerischen Ingenieuren- und Architektenvereins (SIA – Norm 260) bedeutet das, dass die tiefste Eigenfrequenz höher als 4.5 Hz sein sollte. Schlussendlich lag die tiefste Eigenfrequenz der Versuchsplattform bei rund 5.5 Hz. Dadurch konnte man sicher sein, dass die Frequenzprobleme umgangen werden können.

Für mich selber war die Konstruktion der Versuchsplattform ein sehr interessantes und zugleich auch sehr lehrreiches Projekt. Vor allem die Herangehensweise war dieses Mal komplett anders als man es von den verschiedenen Projekten in der Schule gewohnt war. Da es sich hier um eine Konstruktion handelt, die wirklich gebaut wird, gab es von Zeit zu Zeit Sitzungen, wo die jeweiligen Fortschritte zusammen mit den verantwortlichen Personen besprochen worden sind. Zudem bekam ich von diesen Seiten auch immer wieder Inputs, wie man die ganze Konstruktion noch verbessern bzw. vereinfachen könnte. Ein weiterer Punkt waren die Kosten, damit das Ganze wirklich realisiert werden kann, sollten sich diese im Rahmen bzw. im Budget halten. Das bedeutet, dass man nicht immer die absolut Beste und einfachste Möglichkeit gewählt hat, sondern dass man die Lösung gewählt hat, wo das Verhältnis zwischen Funktionalität und Preis am besten stimmte.

Danksagung

Zum Abschluss meiner Diplomarbeit möchte ich mich noch bei all jenen bedanken, die mir während dieser Projektzeit immer geholfen und wertvolle Tipps gegeben haben. Speziell erwähnen möchte ich dabei die folgenden Personen:

- Frau Dr. Cécile Münch
- Herr Anthony Gaspoz
- Herr Dr. Vlad Hasmatuchi
- Herr Nino Brunner

Unterschrift

Abgabe des Berichts: 15. Juli 2016

Joél Amacker

Quellenverzeichnis

- [1]: Khan, M.J. "Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review". Applied Energy, 2009, 86, p. 1831
- [2]: SIA 260:2003, Schweizerischer Ingenieuren- und Architektenverein, Grundlagen zur Projektierung von Tragwerken, Anhang C, Tabelle 10
- [3]: Jan Hendrik Peters (1996): Dokumentation zum Kurs 2.2: Viel Wirbel um Wirbel. In Karmansche Wirbelstrasse. [<http://www.philippi-trust.de/hendrik/braunschweig/wirbeldoku/karman.html>]; 14. Juni 2016]
- [4]: EU-Parlament und der Rat der EU, „Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16EG (Neufassung)“, Amtsblatt der Europäischen Union; (2006)

Abbildungsverzeichnis

Alle nicht speziell bezeichneten Abbildungen, Diagramme und Tabelle stammen von Autodesk Inventor Professional 2015, Microsoft Excel, Microsoft Power Point oder dem Cambridge Engineering Selector und wurden von Joél Amacker während seiner Diplomarbeit erstellt.

Abbildung 6 6: ETN Elastomer Technik Nürnberg GmbH: Halteschuh HSM 140, für Einlage EM 5 - 20 mm, 140 x 120 x 40 mm. [<http://www.etn-shop.com/de/aufzug-fahrstuhl/rollenfuehrung-fk-st-7-vu-93-stahlkerne-2-x-rollen.150x40--1-rolle-150x25-mm>; 26. Februar 2016]

Abbildung 7: ETN Elastomer Technik Nürnberg GmbH: Halteschuh HSM 140, für Einlage EM 5 - 20 mm, 140 x 120 x 40 mm. [<http://www.etn-shop.com/de/aufzug-fahrstuhl/halteschuh-hsm-140-einlage-em-5-20-mm-140-x-120-x-40-mm>; 26. Februar 2016]

Abbildung 20: Meili & Co. AG: Stirnradflaschenzug Herzform Ausführung mit Oberhaken. [<https://d.meili.swiss/frameset/content/edata/prod/11/1111/d11.shtml>; 29. April 2016]

Abbildung 47: Barney Elliott (1940): Tacoma Narrows Bridge collaps. [https://en.wikipedia.org/wiki/File:TacomaNarrowsBridgeCollapse_in_color.jpg; 22. Juni 2016]

Abbildung 81: CNC Lehrgang: Knickbeanspruchung [<http://www.cnc-lehrgang.de/knickbeanspruchung/>; 4. Juli 2016]

Diagramm 6: Lienhard (1966), Achenbach und Heinecke (1981): Strouhal-Zahl in Funktion der Reynoldszahl. [<http://www.flickrriver.com/photos/mitopencourseware/4150128499/>; 14. Juni 2016]

Tabelle 5: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2003): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Norm 260, Anhang C, Tabelle 10.

Anhang

- Anhang 1:** suvapro, Geländer, an ortsfesten Zugängen zu maschinellen Anlagen. Merkblatt für die Gestaltung von Geländern an maschinellen Anlagen
- Anhang 2:** Datenblatt: Meili Stirnradflaschenzug Herzform, Ausführung mit Oberhaken
- Anhang 3:** Auszug aus der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlamentes und Rates vom 17. Mai 2006. Anhang 1, Kapitel 1, 2 und 4



Geländer

an ortsfesten Zugängen zu maschinellen Anlagen

suvapro

Sicher arbeiten

In diesem Merkblatt finden Sie die Anforderungen (Regeln der Technik) für die Gestaltung von Geländern an maschinellen Anlagen. Das Merkblatt behandelt sowohl Geländer an ortsfesten Zugängen zu Maschinen als auch Geländer, die Teil einer Maschine sind. Es ist auch anwendbar für die Gestaltung von Geländern in Kläranlagen.

Um ein einheitliches und risikogerechtes Sicherheitsniveau zu gewährleisten, empfiehlt die Suva, die im Merkblatt geforderte minimale Geländerhöhe von 1,10 m nicht nur bei maschinellen Anlagen, sondern generell für neue Geländer im industriellen und gewerblichen Bereich anzuwenden.

Anhand zahlreicher Praxisbeispiele wird gezeigt, wie sich die sicherheitstechnischen Anforderungen in der Praxis umsetzen lassen.

Suva
Arbeitssicherheit
Postfach, 6002 Luzern

Auskünfte
Tel. 041 419 58 51

Bestellungen
www.suva.ch/publikationen
Fax 041 419 59 17
Tel. 041 419 58 51

Geländer

Verfasser
Franz Herger, Bereich Gewerbe und Industrie

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – mit Quellenangabe gestattet.
1. Auflage – September 1972
Letzte Änderungen – Februar 2007
8. Auflage – Februar 2009 – 69'000 bis 79'000 Exemplare

Bestellnummer
44006.d

Inhalt

1	Sicherheitstechnische Anforderungen	4
2	Absturzhöhe	6
3	Wandabstand	7
4	Geländerhöhe	8
5	Handlauf	10
6	Knieleisten und Füllungen	11
7	Fussleisten	12
8	Unterbrüche und Durchgänge in Geländern	13
9	Instandhaltung	14
10	Vorschriften und Normen	15

1 Sicherheitstechnische Anforderungen

Die folgenden Anforderungen für die Gestaltung neuer ortsfester Geländer an maschinellen Anlagen sind im Wesentlichen der Norm SN EN ISO 14122-3 entnommen. Wenn aus betrieblichen Gründen von diesen Anforderungen abgewichen werden muss, ist als Grundlage für die risikogerechte Gestaltung des Geländers eine Risikobeurteilung vorzunehmen. Eine Risikobeurteilung ist auch dort erforderlich, wo aufgrund der Arbeitsplatzsituation zusätzliche Risiken entstehen (z. B. Arbeiten über ein Geländer hinweg oder Arbeiten in kauernder Stellung neben einem Geländer).

Wann ist ein Geländer anzubringen?

- ① Arbeitspodeste und Zugänge zu Arbeitsplätzen wie z. B. Treppen sind mit festen Geländern zu sichern, wenn die **Absturzhöhe** mehr als 500 mm beträgt (Bild 1, 4, 5, 6).
- ② Ist zwischen einer Arbeitsbühne oder Treppe und einer angrenzenden Wand oder Maschine ein **Abstand** von mehr als 200 mm vorhanden, muss ein Geländer angebracht werden (Bild 1, 7, 8). Eine Fussleiste ist bereits erforderlich, wenn der Abstand 30 mm überschreitet (Bild 8, 9).

oder einen anderen gleichwertigen Schutz aufweisen (Bild 3, 16, 17). Der lichte Abstand zwischen Handlauf und Knieleiste, zwischen Knieleiste und Fussleiste und eventuell zwischen zwei Knieleisten darf nicht mehr als 500 mm betragen.

- ⑦ Wenn anstelle einer Knieleiste **lotrechte Füllstäbe** verwendet werden, darf deren horizontaler Abstand nicht mehr als 180 mm betragen (Bild 18).

Gestaltung, Abmessungen

- ③ Die **Geländerhöhe** muss mindestens 1,10 m betragen (Bild 1 und 10 bis 13).
- ④ Der **Handlauf** soll einen Durchmesser von 25 bis 50 mm aufweisen (im Normalfall nicht kleiner als 40 mm). Entlang des Handlaufs muss ein Freiraum von 100 mm gegenüber Hindernissen vorhanden sein. Die Enden sind so zu gestalten, dass jedes Risiko von Verletzungen durch scharfe Kanten oder durch Hängenbleiben der Kleidung ausgeschlossen ist (Bild 2 und 14, 15).
- ⑤ Der Abstand zwischen zwei **Pfosten** ist vorzugsweise auf 1,50 m zu begrenzen (gemessen von Pfostenmitte zu Pfostenmitte, Bild 3).
- ⑥ Um zu verhindern, dass eine Person unter dem Handlauf hindurchfällt, muss ein Geländer mindestens eine **Knieleiste**



Bild 1

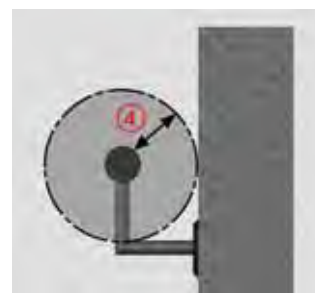


Bild 2

⑧ **Fussleisten** sollen verhindern, dass Personen unter Geländern wegrutschen oder dass Gegenstände von der Laufebene auf darunterliegende Arbeitsplätze oder Verkehrswege herabfallen und dadurch Personen gefährdet werden. Fussleisten müssen eine Höhe von mindestens 100 mm aufweisen. Besteht ein Zwischenraum zwischen Fussleiste und Laufebene, darf dieser maximal 10 mm betragen (Bilder 19 bis 22).

⑨ Bei einer **Unterbrechung des Handlaufs** darf der Freiraum zwischen zwei Geländersegmenten nicht kleiner als 75 mm und nicht grösser als 120 mm sein (Bild 23).

Geländerdurchgänge, bei denen eine Absturzgefahr besteht, sind mit einer selbstschliessenden Durchgangssperre zu sichern. Die Sperre muss einen Handlauf und eine Knieleiste in derselben Höhe wie das angrenzende Geländer aufweisen, sich in Richtung der Laufebene öffnen lassen und gegen einen festen Anschlag schliessen. Die Durchgangssperre soll den gleichen Belastungen standhalten wie das Geländer (Bild 24).

⑩ Geländer müssen schädlichen Umgebungseinflüssen (korrosive Atmosphäre, Nässe, Kälte usw.) widerstehen. Die **Festigkeit** von Geländern ist so zu bemessen, dass sie den Belastungen standhalten, die aufgrund des Einsatzzwecks zu erwarten sind. Dabei ist besonders auf die Festigkeit der Verankerungen und der Befestigungsvorrichtungen der Pfosten zu achten.

Jedes Geländerbauteil soll den Kräften standhalten, die aus einer auf der Höhe des Handlaufs horizontal einwirkenden Punktlast (F) von 1000 N resultieren.

Um den **Absturz von Fahrzeugen** in Bereichen mit innerbetrieblichem Fahrzeugverkehr (z. B. Gabelstapler) zu verhindern, sind für die Gestaltung der Abschränkungen und deren Verankerungspunkte die zu erwartenden dynamischen Kräfte zu berücksichtigen.

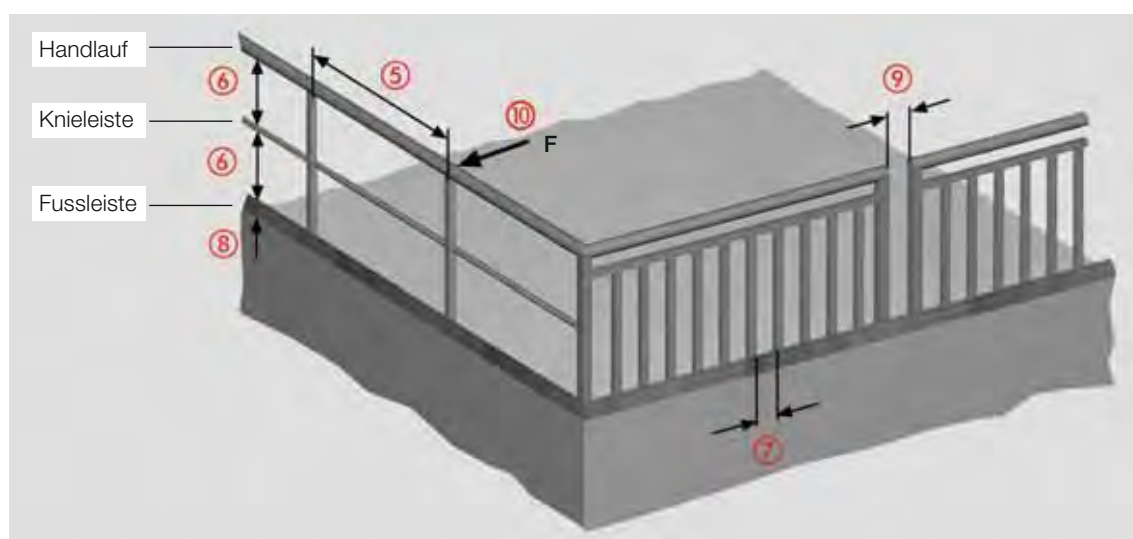


Bild 3

2 Absturzhöhe



Bild 4
Die Kontrollbühne entlang einer automatischen Verarbeitungsanlage ist beidseitig mit einem Geländer gesichert. Geländer sind erforderlich, weil die Absturzhöhe mehr als 500 mm beträgt.



Bild 5
Diese Scherenhebebühne hat eine maximale Arbeitshöhe von einem Meter. Der Bediener ist – z. B. bei einem Fehltritt nach hinten – dank des Geländers auf der gesamten Hubhöhe vor einem Absturz geschützt. Je nach Arbeitsplatzsituation kann ein Geländer bereits bei einer geringeren Absturzhöhe als 500 mm erforderlich sein.



Bild 6
Übergangsbrücke mit beidseitigem Geländer. Der Absturz von Personen und Gegenständen auf die automatische Fördereinrichtung wird wirksam verhindert. Die Treppenleitern weisen ebenfalls beidseitig einen Handlauf auf.

3 Wandabstand



Bild 7
Geländer zur Sicherung der maschinen- bzw. wandseitigen Absturzkante. Das Geländer ist erforderlich, weil der Abstand der Lafebene zur seitlichen Maschinenverkleidung bzw. zur Wand mehr als 200 mm beträgt.



Bild 8
Fussleiste zur Sicherung der maschinen- bzw. wandseitigen Absturzkante. Die Fussleiste ist erforderlich, weil der horizontale Abstand der Lafebene zur Wand bzw. zur Maschinenverkleidung mehr als 30 mm beträgt. Im Bereich des Hintergrunds, wo der Abstand 200 mm überschreitet, wurde ein Geländersegment angebracht.



Bild 9
Fussleiste um eine Bodenöffnung, deren horizontaler Abstand zur Säule mehr als 30 mm beträgt.

4 Geländerhöhe



Bild 10
Die Geländerhöhe beträgt 1,1 m – von der Lafebene zur Oberkante des Handlaufs gemessen.

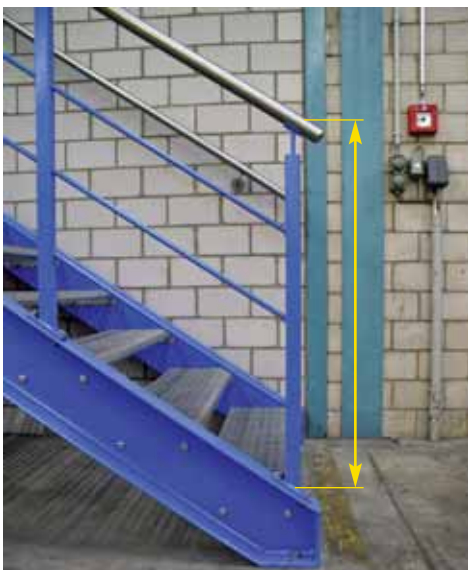


Bild 11
Bei Treppen ist die Geländerhöhe so zu wählen, dass die lotrechte Höhe von der Trittkante jeder Stufe bis zur Oberkante des Handlaufs zwischen 0,90 m und 1,0 m beträgt.



Bild 12
Arbeiten über ein Geländer hinweg. Die Gestaltung des Geländers und insbesondere dessen Höhe entsprechen den besonderen sicherheitstechnischen und betrieblichen Erfordernissen.

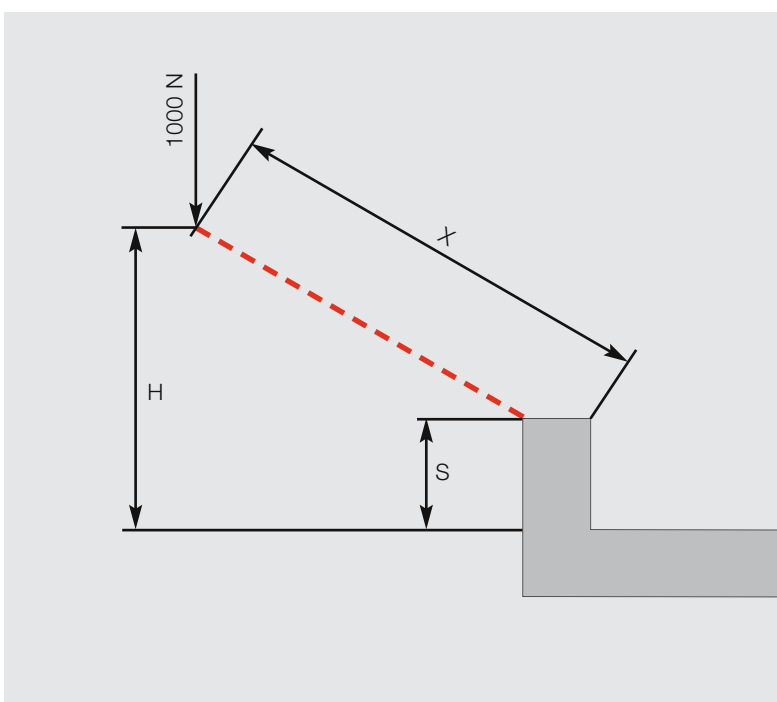


Bild 13
Kann aus betrieblichen Gründen kein vertikales Geländer angebracht werden (z. B. Übergabestellen beim Krantransport bei geringer Hubhöhe des Krans), muss zur Sicherung der Absturzkante anstelle eines Geländers ein Fanggitter aus Drahtgeflecht oder ein Netz angebracht werden.

Die erforderliche Auskragung X lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$X = 2,2 - (H + S)$$

X, H und S sind in Metern einzusetzen.

Die Formel ist gültig für: $H = 0,1$ bis $1,1$ m

$$H \geq S$$

$$S_{\min} = 0,1 \text{ m}$$

Wenn $S < 0,8$ m ist, muss der Vorbau (X) aus einem Drahtgitter oder Netz bestehen, damit er nicht versehentlich begangen wird. Das Fanggitter muss an der Aussenkante eine vertikal wirkende Kraft von 1000 N je Laufmeter aufnehmen können.

5 Handlauf



Bild 14
Podestgeländer mit einem abgesetzten Handlauf. Der Freiraum zwischen Handlauf und angrenzender Wandung beträgt mindestens 100 mm.



Bild 15
Geländer mit genügend Freiraum zwischen Handlauf und Treppe. Das Ende des Handlaufs ist so gestaltet, dass keine Verletzungen durch scharfe Kanten und kein Hängenbleiben mit der Kleidung möglich ist.

6 Knieleisten und Füllungen



Bild 16

Treppengeländer mit zwei Knieleisten. Der Abstand (lichte Weite) zwischen Handlauf und oberer Knieleiste, zwischen den Knieleisten sowie zwischen der unteren Knieleiste und der Treppenwange beträgt nicht mehr als 500 mm. Die erforderliche Zahl der Knieleisten richtet sich nach der Funktion des Geländers.



Bild 17

Das zusätzlich angebrachte, vollflächige Gitter verhindert wirksam den Absturz von Gegenständen und Personen.



Bild 18

Geländer mit vertikalen Füllstäben. Der Abstand der Stäbe (lichte Weite) beträgt nicht mehr als 180 mm.

7 Fussleisten



Bild 19
Die Fussleiste von mindestens 100 mm Höhe verhindert, dass Personen bei Wartungsarbeiten unter dem Geländer wegrutschen oder dass Gegenstände hinunterfallen und Personen gefährden.



Bild 20
Geländer entlang einer Arbeitsbühne mit Fussleiste und einer vollflächigen Füllung auf der Absturzseite. Dadurch wird verhindert, dass kauende Personen oder Gegenstände auf den darunterliegenden Verkehrsweg abstürzen.



Bild 21
Durch den Zwischenraum zwischen Lafebene und Fussleiste kann Regen- und Schmelzwasser abfließen. Der Zwischenraum beträgt nicht mehr als 10 mm.

Bild 22
Aus betrieblichen Gründen (Schneeräumung) wurde an diesem Laufsteg in einer Kläranlage keine Fussleiste angebracht. Sie wurde durch eine zusätzliche Knieleiste ersetzt. In diesem Fall darf der Abstand zwischen der Lafebene und der untersten Knieleiste nicht mehr als 300 mm betragen.



8 Unterbrücke und Durchgänge in Geländern



Bild 23

Geländer aus einzelnen Segmenten. Der Zwischenraum zwischen den Geländersegmenten beträgt mindestens 75 mm und höchstens 120 mm. So wird erreicht, dass man mit der Hand nicht ungewollt in den Zwischenräumen hängen bleibt.



Bild 24

Selbstschliessende Durchgangssperre, die sich nur in Richtung der Arbeitsbühne öffnen lässt. Sie ist mit einem Handlauf sowie mit einer Knieleiste (auf derselben Höhe wie beim Geländer) versehen und schliesst gegen einen festen Anschlag.

9 Instandhaltung

Um Abstürze von Personen aufgrund von korrodierten oder losen Geländerteilen und Befestigungselementen zu vermeiden, sind Geländer periodisch zu kontrollieren und instand zu halten. Insbesondere Geländer im Freien und Geländer, die schädigenden Einflüssen wie aggressiver Atmosphäre, Vibrationen usw. ausgesetzt sind, müssen einer intensiveren Instandhaltung unterzogen werden. Dies gilt auch für Geländer, die bei Transportarbeiten angefahren werden können.

10 Vorschriften, Normen

Vorschriften

- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (VUV)

Normen

- SN EN ISO 14122-3 Sicherheit von Maschinen – Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen, Teil 3: Treppen, Treppenleitern und Geländer
- SN EN 12255-10 Kläranlagen, Teil 10: Sicherheitstechnische Baugrundsätze

Weitere Publikationen der Suva zur Gestaltung innerbetrieblicher Verkehrswege finden Sie in unserem gedruckten Publikationsverzeichnis (Suva-Bestell-Nr. 88094.d) oder unter **www.suva.ch/publikationen**.

Suva
Postfach, 6002 Luzern
Telefon 041 419 58 51
www.suva.ch

Bestellnummer
44006.d



Stirnradflaschenzug Herzform Ausführung mit Oberhaken

- bis 50 t Tragfähigkeit
- kompakt und leicht
- dauergeschmiert
- robustes Pressstahlgehäuse
- geschützter Bremsmechanismus
- verschleissfeste, verzinkte Lastkette
- drehbare Lasthaken mit Sicherheitsverschluss

Ein besonders strapazierfähiger Handkettenzug. Trotz kleinem Gewicht handelt es sich um ein robustes und unverwundliches Hebezeug. So besitzen Herzform-Stirnradflaschenzüge ein schlag- und stossfestes Pressstahlgehäuse.

[\[Teil 1: Tragfähigkeiten 500–2000 kg\]](#)

[\[Abmessungen\]](#)

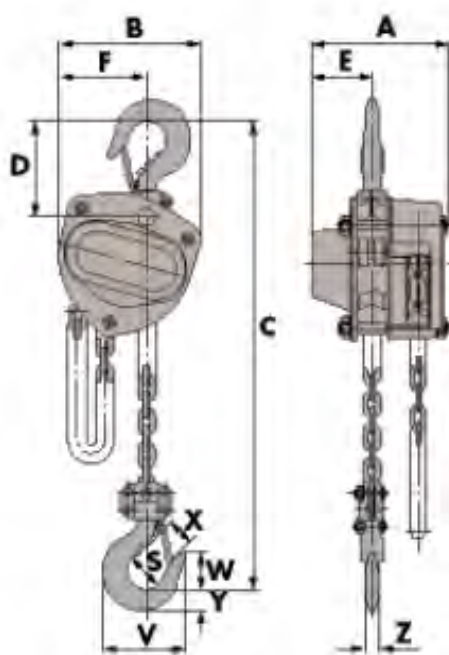
Stirnradflaschenzug Herzform mit Oberhaken – Teil 2

Tragfähigkeit	kg	3000	5000	7500	10000
Anzahl Kettenstränge		2	2	3	4
Bestell-Nr.		11.1100.30	11.1100.50	11.1100.75	11.110T.10
Handkettenzug					
bei Vollast	daN	36	34	35	36
Handkettenabwicklung					
je Hubmeter	m	114	198	297	396
kleinste Bauhöhe (C)	mm	510	600	770	760
Gewicht mit 3 m Hub	kg	24,0	41,0	63,0	83,0
Preis mit					
Standardausrüstung*	CHF	690.00	1'050.00	1'370.00	1'975.00
Mehrhub Ketten	CHF/m	67.00	93.00	133.00	173.00

* Preis mit 3 m Lastkettenhub, 2,5 m Handkettenhub

Grössere Modelle auf Anfrage

fördern, heben, Lasten bewegen ... **MEILI**



Stirnradflaschenzug Herzform Ausführung mit Oberhaken

- bis 50 t Tragfähigkeit
- kompakt und leicht
- dauergeschmiert
- robustes Pressstahlgehäuse
- geschützter Bremsmechanismus
- verschleissfeste, verzinkte Lastkette
- drehbare Lasthaken mit Sicherheitsverschluss

Ein besonders strapazierfähiger Handkettenzug. Trotz kleinem Gewicht handelt es sich um ein robustes und unverwüstliches Hebezeug. So besitzen Herzform-Stirnradflaschenzüge ein schlag- und stossfestes Pressstahlgehäuse.

 [Teil 1: Tragfähigkeiten 500–2000 kg]

 [Teil 2: Tragfähigkeiten 3000–10000 kg]

Stirnradflaschenzug Herzform mit Oberhaken

Tragfähigkeit	kg	500	1000	1500	2000	3000	5000	7500	10000
Anzahl Kettenstränge		1	1	1	1	2	2	3	4
– A	mm	158	162	171	182	171	192	192	192
– B	mm	161	161	182	202	235	282	373	438
– C	mm	285	295	350	375	510	600	770	760
– D	mm	89	101	119	124	148	172	275	295
– E	mm	69	71	78	87	78	91	91	111
– F	mm	99	99	112	125	162	194	253	308
– S	mm	35	42	47	50	56	63	85	85
– V	mm	77	93	106	116	138	161	231	231
– W	mm	35	41	47	49	57	68	98	98
– X	mm	27	29	34	36	42	46	72	72
– Y	mm	17	22	27	30	38	48	63	63
– Z	mm	12	16	20	22	28	35	48	48

Grössere Modelle auf Anfrage

fördern, heben, Lasten bewegen ...

MEILI

ANHANG I

Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen für Konstruktion und Bau von Maschinen

ALLGEMEINE GRUNDSÄTZE

1. Der Hersteller einer Maschine oder sein Bevollmächtigter hat dafür zu sorgen, dass eine Risikobeurteilung vorgenommen wird, um die für die Maschine geltenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen zu ermitteln. Die Maschine muss dann unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Risikobeurteilung konstruiert und gebaut werden.

Bei den vorgenannten iterativen Verfahren der Risikobeurteilung und Risikominderung hat der Hersteller oder sein Bevollmächtigter
 - die Grenzen der Maschine zu bestimmen, was ihre bestimmungsgemäße Verwendung und jede vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung einschließt;
 - die Gefährdungen, die von der Maschine ausgehen können, und die damit verbundenen Gefährdungssituationen zu ermitteln;
 - die Risiken abzuschätzen unter Berücksichtigung der Schwere möglicher Verletzungen oder Gesundheitsschäden und der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens;
 - die Risiken zu bewerten, um zu ermitteln, ob eine Risikominderung gemäß dem Ziel dieser Richtlinie erforderlich ist;
 - die Gefährdungen auszuschalten oder durch Anwendung von Schutzmaßnahmen die mit diesen Gefährdungen verbundenen Risiken in der in Nummer 1.1.2 Buchstabe b festgelegten Rangfolge zu mindern.
2. Die mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen verbundenen Verpflichtungen gelten nur dann, wenn an der betreffenden Maschine bei Verwendung unter den vom Hersteller oder seinem Bevollmächtigten vorgesehenen Bedingungen oder unter vorhersehbaren ungewöhnlichen Bedingungen die entsprechende Gefährdung auftritt. Die in Nummer 1.1.2 aufgeführten Grundsätze für die Integration der Sicherheit sowie die in den Nummern 1.7.3 und 1.7.4 aufgeführten Verpflichtungen in Bezug auf die Kennzeichnung der Maschine und die Betriebsanleitung gelten auf jeden Fall.
3. Die in diesem Anhang aufgeführten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen sind bindend. Es kann jedoch sein, dass die damit gesetzten Ziele aufgrund des Stands der Technik nicht erreicht werden können. In diesem Fall muss die Maschine so weit wie möglich auf diese Ziele hin konstruiert und gebaut werden.
4. Dieser Anhang ist in mehrere Teile gegliedert. Der erste Teil hat einen allgemeinen Anwendungsbereich und gilt für alle Arten von Maschinen. Die weiteren Teile beziehen sich auf bestimmte spezifische Gefährdungen. Dieser Anhang ist jedoch stets in seiner Gesamtheit durchzusehen, damit die Gewissheit besteht, dass alle jeweils relevanten grundlegenden Anforderungen erfüllt werden. Bei der Konstruktion einer Maschine sind in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Risikobeurteilung gemäß Nummer 1 der vorliegenden allgemeinen Grundsätze die Anforderungen des allgemeinen Teils und die Anforderungen eines oder mehrerer der anderen Teile zu berücksichtigen.

1. GRUNDLEGENDE SICHERHEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZANFORDERUNGEN

1.1. ALLGEMEINES

1.1.1. Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieses Anhangs bezeichnet der Ausdruck

- a) „Gefährdung“ eine potenzielle Quelle von Verletzungen oder Gesundheitsschäden;
- b) „Gefahrenbereich“ den Bereich in einer Maschine und/oder in ihrem Umkreis, in dem die Sicherheit oder die Gesundheit einer Person gefährdet ist;
- c) „gefährdete Person“ eine Person, die sich ganz oder teilweise in einem Gefahrenbereich befindet;
- d) „Bedienungspersonal“ die Person bzw. die Personen, die für Installation, Betrieb, Einrichten, Wartung, Reinigung, Reparatur oder Transport von Maschinen zuständig sind;
- e) „Risiko“ die Kombination aus der Wahrscheinlichkeit und der Schwere einer Verletzung oder eines Gesundheitsschadens, die in einer Gefährdungssituation eintreten können;
- f) „trennende Schutzeinrichtung“ ein Maschinenteil, das Schutz mittels einer physischen Barriere bietet;
- g) „nichttrennende Schutzeinrichtung“ eine Einrichtung ohne trennende Funktion, die allein oder in Verbindung mit einer trennenden Schutzeinrichtung das Risiko vermindert;
- h) „bestimmungsgemäße Verwendung“ die Verwendung einer Maschine entsprechend den Angaben in der Betriebsanleitung;
- i) „vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung“ die Verwendung einer Maschine in einer laut Betriebsanleitung nicht beabsichtigten Weise, die sich jedoch aus leicht absehbarem menschlichem Verhalten ergeben kann.

1.1.2. Grundsätze für die Integration der Sicherheit

- a) Die Maschine ist so zu konstruieren und zu bauen, dass sie ihrer Funktion gerecht wird und unter den vorgesehenen Bedingungen — aber auch unter Berücksichtigung einer vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendung der Maschine — Betrieb, Einrichten und Wartung erfolgen kann, ohne dass Personen einer Gefährdung ausgesetzt sind.

Die getroffenen Maßnahmen müssen darauf abzielen, Risiken während der voraussichtlichen Lebensdauer der Maschine zu beseitigen, einschließlich der Zeit, in der die Maschine transportiert, montiert, demontiert, außer Betrieb gesetzt und entsorgt wird.

- b) Bei der Wahl der angemessensten Lösungen muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter folgende Grundsätze anwenden, und zwar in der angegebenen Reihenfolge:

- Beseitigung oder Minimierung der Risiken so weit wie möglich (Integration der Sicherheit in Konstruktion und Bau der Maschine);
- Ergreifen der notwendigen Schutzmaßnahmen gegen Risiken, die sich nicht beseitigen lassen;
- Unterrichtung der Benutzer über die Restrisiken aufgrund der nicht vollständigen Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen; Hinweis auf eine eventuell erforderliche spezielle Ausbildung oder Einarbeitung und persönliche Schutzausrüstung.

- c) Bei der Konstruktion und beim Bau der Maschine sowie bei der Ausarbeitung der Betriebsanleitung muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter nicht nur die bestimmungsgemäße Verwendung der Maschine, sondern auch jede vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung der Maschine in Betracht ziehen.

Die Maschine ist so zu konstruieren und zu bauen, dass eine nicht bestimmungsgemäße Verwendung verhindert wird, falls diese ein Risiko mit sich bringt. Gegebenenfalls ist in der Betriebsanleitung auf Fehlanwendungen der Maschine hinzuweisen, die erfahrungsgemäß vorkommen können.

- d) Bei der Konstruktion und beim Bau der Maschine muss den Belastungen Rechnung getragen werden, denen das Bedienungspersonal durch die notwendige oder voraussichtliche Benutzung von persönlichen Schutzausrüstungen ausgesetzt ist.

- e) Die Maschine muss mit allen Spezialausrüstungen und Zubehörteilen geliefert werden, die eine wesentliche Voraussetzung dafür sind, dass die Maschine sicher eingerichtet, gewartet und betrieben werden kann.

1.1.3. Materialien und Produkte

Die für den Bau der Maschine eingesetzten Materialien oder die bei ihrem Betrieb verwendeten oder entstehenden Produkte dürfen nicht zur Gefährdung der Sicherheit und der Gesundheit von Personen führen. Insbesondere bei der Verwendung von Fluiden muss die Maschine so konstruiert und gebaut sein, dass sie ohne Gefährdung aufgrund von Einfüllung, Verwendung, Rückgewinnung und Beseitigung benutzt werden kann.

1.1.4. Beleuchtung

Die Maschine ist mit einer den Arbeitsgängen entsprechenden Beleuchtung zu liefern, falls das Fehlen einer solchen Beleuchtung trotz normaler Umgebungsbeleuchtung ein Risiko verursachen kann.

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass die Beleuchtung keinen störenden Schattenbereich, keine Blendung und keine gefährlichen Stroboskopeffekte bei beweglichen Teilen verursacht.

Falls bestimmte innen liegende Bereiche häufiges Prüfen, Einrichten oder Warten erfordern, sind sie mit geeigneter Beleuchtung zu versehen.

1.1.5. Konstruktion der Maschine im Hinblick auf die Handhabung

Die Maschine oder jedes ihrer Bestandteile müssen

- sicher gehandhabt und transportiert werden können;
- so verpackt oder konstruiert sein, dass sie sicher und ohne Beschädigung gelagert werden können.

Beim Transport der Maschine und/oder ihrer Bestandteile müssen ungewollte Lageveränderungen und Gefährdungen durch mangelnde Standsicherheit ausgeschlossen sein, wenn die Handhabung entsprechend der Betriebsanleitung erfolgt.

Wenn sich die Maschine oder ihre verschiedenen Bestandteile aufgrund ihres Gewichtes, ihrer Abmessungen oder ihrer Form nicht von Hand bewegen lassen, muss die Maschine oder jeder ihrer Bestandteile

- entweder mit Befestigungseinrichtungen ausgestattet sein, so dass sie von einer Lastaufnahmeeinrichtung aufgenommen werden können,
- oder mit einer solchen Befestigungseinrichtung ausgestattet werden können
- oder so geformt sein, dass die üblichen Lastaufnahmemittel leicht angelegt werden können.

Maschinen oder ihre Bestandteile, die von Hand transportiert werden, müssen

- entweder leicht transportierbar sein
- oder mit Greifvorrichtungen ausgestattet sein, die einen sicheren Transport ermöglichen.

Für die Handhabung von Werkzeugen und/oder Maschinenteilen, die auch bei geringem Gewicht eine Gefährdung darstellen können, sind besondere Vorkehrungen zu treffen.

1.1.6. **Ergonomie**

Bei bestimmungsgemäßer Verwendung müssen Belästigung, Ermüdung sowie körperliche und psychische Fehlbeanspruchung des Bedienungspersonals auf das mögliche Mindestmaß reduziert sein unter Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien wie:

- Möglichkeit der Anpassung an die Unterschiede in den Körpermaßen, der Körperkraft und der Ausdauer des Bedienungspersonals;
- ausreichender Bewegungsfreiraum für die Körperteile des Bedienungspersonals;
- Vermeidung eines von der Maschine vorgegebenen Arbeitsrhythmus;
- Vermeidung von Überwachungstätigkeiten, die dauernde Aufmerksamkeit erfordern;
- Anpassung der Schnittstelle Mensch-Maschine an die voraussehbaren Eigenschaften des Bedienungspersonals.

1.1.7. **Bedienungsplätze**

Der Bedienungsplatz muss so gestaltet und ausgeführt sein, dass Risiken aufgrund von Abgasen und/oder Sauerstoffmangel vermieden werden.

Ist die Maschine zum Einsatz in einer gefährlichen Umgebung vorgesehen, von der Risiken für Sicherheit und Gesundheit des Bedieners ausgehen, oder verursacht die Maschine selbst eine gefährliche Umgebung, so sind geeignete Einrichtungen vorzusehen, damit gute Arbeitsbedingungen für den Bediener gewährleistet sind und er gegen vorhersehbare Gefährdungen geschützt ist.

Gegebenenfalls muss der Bedienungsplatz mit einer geeigneten Kabine ausgestattet sein, die so konstruiert, gebaut und/oder ausgerüstet ist, dass die vorstehenden Anforderungen erfüllt sind. Der Ausstieg muss ein schnelles Verlassen der Kabine gestatten. Außerdem ist gegebenenfalls ein Notausstieg vorzusehen, der in eine andere Richtung weist als der Hauptausstieg.

1.1.8. **Sitze**

Soweit es angezeigt ist und es die Arbeitsbedingungen gestatten, müssen Arbeitsplätze, die einen festen Bestandteil der Maschine bilden, für die Anbringung von Sitzen ausgelegt sein.

Soll der Bediener seine Tätigkeit sitzend ausführen und ist der Bedienungsplatz fester Bestandteil der Maschine, so muss die Maschine mit einem Sitz ausgestattet sein.

Der Sitz für den Bediener muss diesem sicheren Halt bieten. Ferner müssen der Sitz und sein Abstand zu den Stellteilen auf den Bediener abgestimmt werden können.

Ist die Maschine Schwingungen ausgesetzt, muss der Sitz so konstruiert und gebaut sein, dass die auf den Bediener übertragenen Schwingungen auf das mit vertretbarem Aufwand erreichbare niedrigste Niveau reduziert werden. Die Sitzverankerung muss allen Belastungen standhalten, denen sie ausgesetzt sein kann. Befindet sich unter den Füßen des Bedieners kein Boden, sind rutschhemmende Fußstützen vorzusehen.

1.2. **STEUERUNGEN UND BEFEHLS-EINRICHTUNGEN**

1.2.1. **Sicherheit und Zuverlässigkeit von Steuerungen**

Steuerungen sind so zu konzipieren und zu bauen, dass es nicht zu Gefährdungssituationen kommt. Insbesondere müssen sie so ausgelegt und beschaffen sein, dass

- sie den zu erwartenden Betriebsbeanspruchungen und Fremdeinflüssen standhalten;
- ein Defekt der Hardware oder der Software der Steuerung nicht zu Gefährdungssituationen führt;
- Fehler in der Logik des Steuerkreises nicht zu Gefährdungssituationen führen;
- vernünftigerweise vorhersehbare Bedienungsfehler nicht zu Gefährdungssituationen führen.

Insbesondere ist Folgendes zu beachten:

- Die Maschine darf nicht unbeabsichtigt in Gang gesetzt werden können;
- die Parameter der Maschine dürfen sich nicht unkontrolliert ändern können, wenn eine derartige unkontrollierte Änderung zu Gefährdungssituationen führen kann;
- das Stillsetzen der Maschine darf nicht verhindert werden können, wenn der Befehl zum Stillsetzen bereits erteilt wurde;
- ein bewegliches Maschinenteil oder ein von der Maschine gehaltenes Werkstück darf nicht herabfallen oder herausgeschleudert werden können;
- automatisches oder manuelles Stillsetzen von beweglichen Teilen jeglicher Art darf nicht verhindert werden;
- nichttrennende Schutzeinrichtungen müssen uneingeschränkt funktionsfähig bleiben oder aber einen Befehl zum Stillsetzen auslösen;
- die sicherheitsrelevanten Teile der Steuerung müssen kohärent auf eine Gesamtheit von Maschinen und/oder unvollständigen Maschinen einwirken.

Bei kabelloser Steuerung muss ein automatisches Stillsetzen ausgelöst werden, wenn keine einwandfreien Steuersignale empfangen werden; hierunter fällt auch ein Abbruch der Verbindung.

1.2.2. **Stellteile**

Stellteile müssen

- deutlich sichtbar und erkennbar sein; wenn geeignet, sind Piktogramme zu verwenden;
- so angebracht sein, dass sie sicher, unbedenklich, schnell und eindeutig betätigt werden können;
- so gestaltet sein, dass das Betätigen des Stellteils mit der jeweiligen Steuerwirkung kohärent ist;
- außerhalb der Gefahrenbereiche angeordnet sein, erforderlichenfalls mit Ausnahme bestimmter Stellteile wie NOT-HALT-Befehlsgeräte und Handprogrammiergeräte;
- so angeordnet sein, dass ihr Betätigen keine zusätzlichen Risiken hervorruft;
- so gestaltet oder geschützt sein, dass die beabsichtigte Wirkung, falls sie mit einer Gefährdung verbunden sein kann, nur durch eine absichtliche Betätigung erzielt werden kann;
- so gefertigt sein, dass sie vorhersehbaren Beanspruchungen standhalten; dies gilt insbesondere für Stellteile von NOT-HALT-Befehlsgeräten, die hoch beansprucht werden können.

Ist ein Stellteil für mehrere verschiedene Wirkungen ausgelegt und gebaut, d. h., ist seine Wirkung nicht eindeutig, so muss die jeweilige Steuerwirkung unmissverständlich angezeigt und erforderlichenfalls bestätigt werden.

Stellteile müssen so gestaltet sein, dass unter Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien ihre Anordnung, ihre Bewegungsrichtung und ihr Betätigungswiderstand mit der Steuerwirkung kompatibel sind.

Die Maschine muss mit den für sicheren Betrieb notwendigen Anzeigeeinrichtungen und Hinweisen ausgestattet sein. Das Bedienungspersonal muss diese vom Bedienungsstand aus einsehen können.

Von jedem Bedienungsplatz aus muss sich das Bedienungspersonal vergewissern können, dass niemand sich in den Gefahrenbereichen aufhält, oder die Steuerung muss so ausgelegt und gebaut sein, dass das Ingangsetzen verhindert wird, solange sich jemand im Gefahrenbereich aufhält.

Ist das nicht möglich, muss die Steuerung so ausgelegt und gebaut sein, dass dem Ingangsetzen ein akustisches und/oder optisches Warnsignal vorgeschaltet ist. Einer gefährdeten Person muss genügend Zeit bleiben, um den Gefahrenbereich zu verlassen oder das Ingangsetzen der Maschine zu verhindern.

Falls erforderlich, ist dafür zu sorgen, dass die Maschine nur von Bedienungsständen aus bedient werden kann, die sich in einer oder mehreren vorher festgelegten Zonen oder an einem oder mehreren vorher festgelegten Standorten befinden.

Sind mehrere Bedienungsplätze vorhanden, so muss die Steuerung so ausgelegt sein, dass die Steuerung jeweils nur von einem Bedienungsplatz aus möglich ist; hiervon ausgenommen sind Befehlsrichtungen zum Stillsetzen und Nothalt.

Verfügt eine Maschine über mehrere Bedienungsstände, so muss jeder Bedienungsstand mit allen erforderlichen Befehlsrichtungen ausgestattet sein, wobei auszuschließen ist, dass sich das Bedienungspersonal gegenseitig behindert oder in eine Gefährdungssituation bringt.

1.2.3. **Ingangsetzen**

Das Ingangsetzen einer Maschine darf nur durch absichtliches Betätigen einer hierfür vorgesehenen Befehlseinrichtung möglich sein.

Dies gilt auch

- für das Wiedereingangsetzen nach einem Stillstand, ungeachtet der Ursache für diesen Stillstand;
- für eine wesentliche Änderung des Betriebszustands.

Gleichwohl kann das Wiedereingangsetzen oder die Änderung des Betriebszustands durch absichtliches Betätigen einer anderen Einrichtung als der hierfür vorgesehenen Befehlseinrichtung möglich sein, sofern dadurch keine Gefährdungssituation entsteht.

Bei Maschinen, die im Automatikbetrieb arbeiten, darf das Ingangsetzen oder Wiedereingangsetzen nach einer Abschaltung und die Änderung ihres Betriebszustands ohne Bedienereingriff möglich sein, sofern dies nicht zu einer Gefährdungssituation führt.

Verfügt eine Maschine über mehrere Befehlseinrichtungen für das Ingangsetzen und führt dies dazu, dass sich das Bedienungspersonal gegenseitig gefährden kann, so sind zusätzliche Einrichtungen einzubauen, um derartige Risiken auszuschließen. Wenn es aus Sicherheitsgründen erforderlich ist, dass das Ingangsetzen und/oder das Stillsetzen in einer bestimmten Reihenfolge erfolgt, müssen Einrichtungen vorhanden sein, die die Einhaltung der richtigen Abfolge bei diesen Bedienungsvorgängen sicherstellen.

1.2.4. **Stillsetzen**

1.2.4.1. **Normales Stillsetzen**

Maschinen müssen mit einer Befehlseinrichtung zum sicheren Stillsetzen der gesamten Maschine ausgestattet sein.

Jeder Arbeitsplatz muss mit einer Befehlseinrichtung ausgestattet sein, mit dem sich entsprechend der Gefährdungslage bestimmte oder alle Funktionen der Maschine stillsetzen lassen, um die Maschine in einen sicheren Zustand zu versetzen.

Der Befehl zum Stillsetzen der Maschine muss Vorrang vor den Befehlen zum Ingangsetzen haben.

Sobald die Maschine stillgesetzt ist oder ihre gefährlichen Funktionen stillgesetzt sind, muss die Energieversorgung des betreffenden Antriebs unterbrochen werden.

1.2.4.2. **Betriebsbedingtes Stillsetzen**

Ist ein Stillsetzen, bei dem die Energieversorgung des Antriebs unterbrochen wird, betriebsbedingt nicht möglich, so muss der Betriebszustand der Stillsetzung überwacht und aufrechterhalten werden.

1.2.4.3. **Stillsetzen im Notfall**

Jede Maschine muss mit einem oder mehreren NOT-HALT-Befehlsgeräten ausgerüstet sein, durch die eine unmittelbar drohende oder eintretende Gefahr vermieden werden kann.

Hiervon ausgenommen sind

- Maschinen, bei denen durch das NOT-HALT-Befehlsgerät das Risiko nicht gemindert werden kann, da das NOT-HALT-Befehlsgerät entweder die Zeit des Stillsetzens nicht verkürzt oder es nicht ermöglicht, besondere, wegen des Risikos erforderliche Maßnahmen zu ergreifen;
- handgehaltene und/oder handgeführte Maschinen.

Das NOT-HALT-Befehlsgerät muss

- deutlich erkennbare, gut sichtbare und schnell zugängliche Stellteile haben;
- den gefährlichen Vorgang möglichst schnell zum Stillstand bringen, ohne dass dadurch zusätzliche Risiken entstehen;
- erforderlichenfalls bestimmte Sicherungsbewegungen auslösen oder ihre Auslösung zulassen.

Wenn das NOT-HALT-Befehlsgerät nach Auslösung eines Haltbefehls nicht mehr betätigt wird, muss dieser Befehl durch die Blockierung des NOT-HALT-Befehlsgeräts bis zu ihrer Freigabe aufrechterhalten bleiben; es darf nicht möglich sein, das Gerät zu blockieren, ohne dass dieses einen Haltbefehl auslöst; das Gerät darf nur durch eine geeignete Betätigung freigegeben werden können; durch die Freigabe darf die Maschine nicht wieder in Gang gesetzt, sondern nur das Wiedereingangssetzen ermöglicht werden.

Die NOT-HALT-Funktion muss unabhängig von der Betriebsart jederzeit verfügbar und betriebsbereit sein.

NOT-HALT-Befehlsgeräte müssen andere Schutzmaßnahmen ergänzen, aber dürfen nicht an deren Stelle treten.

1.2.4.4. Gesamtheit von Maschinen

Sind Maschinen oder Maschinenteile dazu bestimmt zusammenzuwirken, so müssen sie so konstruiert und gebaut sein, dass die Einrichtungen zum Stillsetzen, einschließlich der NOT-HALT-Befehlsgeräte, nicht nur die Maschine selbst stillsetzen können, sondern auch alle damit verbundenen Einrichtungen, wenn von deren weiterem Betrieb eine Gefahr ausgehen kann.

1.2.5. Wahl der Steuerungs- oder Betriebsarten

Die gewählte Steuerungs- oder Betriebsart muss allen anderen Steuerungs- und Betriebsfunktionen außer dem NOT-HALT übergeordnet sein.

Ist die Maschine so konstruiert und gebaut, dass mehrere Steuerungs- oder Betriebsarten mit unterschiedlichen Schutzmaßnahmen und/oder Arbeitsverfahren möglich sind, so muss sie mit einem in jeder Stellung abschließbaren Steuerungs- und Betriebsartenwahlschalter ausgestattet sein. Jede Stellung des Wahlschalters muss deutlich erkennbar sein und darf nur einer Steuerungs- oder Betriebsart entsprechen.

Der Wahlschalter kann durch andere Wahleinrichtungen ersetzt werden, durch die die Nutzung bestimmter Funktionen der Maschine auf bestimmte Personenkreise beschränkt werden kann.

Ist für bestimmte Arbeiten ein Betrieb der Maschine bei geöffneter oder abgenommener trennender Schutzeinrichtung und/oder ausgeschalteter nichttrennender Schutzeinrichtung erforderlich, so sind der entsprechenden Stellung des Steuerungs- und Betriebsartenwahlschalters gleichzeitig folgende Steuerungsvorgaben zuzuordnen:

- Alle anderen Steuerungs- oder Betriebsarten sind nicht möglich;
- der Betrieb gefährlicher Funktionen ist nur möglich, solange die entsprechenden Befehlseinrichtungen betätigt werden;
- der Betrieb gefährlicher Funktionen ist nur unter geringeren Risikobedingungen möglich, und Gefährdungen, die sich aus Befehlsverkettungen ergeben, werden ausgeschaltet;
- der Betrieb gefährlicher Funktionen durch absichtliche oder unabsichtliche Einwirkung auf die Sensoren der Maschine ist nicht möglich.

Können diese vier Voraussetzungen nicht gleichzeitig erfüllt werden, so muss der Steuerungs- oder Betriebsartenwahlschalter andere Schutzmaßnahmen auslösen, die so angelegt und beschaffen sind, dass ein sicherer Arbeitsbereich gewährleistet ist.

Vom Betätigungsplatz des Wahlschalters aus müssen sich die jeweils betriebenen Maschinenteile steuern lassen.

1.2.6. Störung der Energieversorgung

Ein Ausfall der Energieversorgung der Maschine, eine Wiederherstellung der Energieversorgung nach einem Ausfall oder eine Änderung der Energieversorgung darf nicht zu gefährlichen Situationen führen.

Insbesondere ist Folgendes zu beachten:

- Die Maschine darf nicht unbeabsichtigt in Gang gesetzt werden können;
- die Parameter der Maschine dürfen sich nicht unkontrolliert ändern können, wenn eine derartige unkontrollierte Änderung zu Gefährdungssituationen führen kann;
- das Stillsetzen der Maschine darf nicht verhindert werden können, wenn der Befehl zum Stillsetzen bereits erteilt wurde;

- ein bewegliches Maschinenteil oder ein von der Maschine gehaltenes Werkstück darf nicht herabfallen oder herausgeschleudert werden können;
- automatisches oder manuelles Stillsetzen von beweglichen Teilen jeglicher Art darf nicht verhindert werden;
- nichttrennende Schutzeinrichtungen müssen uneingeschränkt funktionsfähig bleiben oder aber einen Befehl zum Stillsetzen auslösen.

1.3. SCHUTZMASSNAHMEN GEGEN MECHANISCHE GEFÄHRDUNGEN

1.3.1. *Risiko des Verlusts der Standsicherheit*

Die Maschine, ihre Bestandteile und ihre Ausrüstungsteile müssen ausreichend standsicher sein, um ein Umstürzen oder Herabfallen oder eine unkontrollierte Lageveränderung beim Transport, der Montage und der Demontage sowie jeder anderer Betätigung an der Maschine zu vermeiden.

Kann aufgrund der Form oder der vorgesehenen Installation der Maschine keine ausreichende Standsicherheit gewährleistet werden, müssen geeignete Befestigungsmittel vorgesehen und in der Betriebsanleitung angegeben werden.

1.3.2. *Bruchrisiko beim Betrieb*

Die verschiedenen Teile der Maschine und ihre Verbindungen untereinander müssen den bei der Verwendung der Maschine auftretenden Belastungen standhalten.

Die verwendeten Materialien müssen — entsprechend der vom Hersteller oder seinem Bevollmächtigten vorgesehenen Arbeitsumgebung der Maschine — eine geeignete Festigkeit und Beständigkeit insbesondere in Bezug auf Ermüdung, Alterung, Korrosion und Verschleiß aufweisen.

In der Betriebsanleitung ist anzugeben, welche Inspektionen und Wartungsarbeiten in welchen Abständen aus Sicherheitsgründen durchzuführen sind. Erforderlichenfalls ist anzugeben, welche Teile dem Verschleiß unterliegen und nach welchen Kriterien sie auszutauschen sind.

Wenn trotz der ergriffenen Maßnahmen das Risiko des Berstens oder des Bruchs von Teilen weiter besteht, müssen die betreffenden Teile so montiert, angeordnet und/oder gesichert sein, dass Bruchstücke zurückgehalten werden und keine Gefährdungssituationen entstehen.

Starre oder elastische Leitungen, die Fluide — insbesondere unter hohem Druck — führen, müssen den vorgesehenen inneren und äußeren Belastungen standhalten; sie müssen sicher befestigt und/oder geschützt sein, so dass ein Bruch kein Risiko darstellt.

Bei automatischer Zuführung des Werkstücks zum Werkzeug müssen folgende Bedingungen erfüllt sein, um Risiken für Personen zu vermeiden:

- Bei Berührung zwischen Werkzeug und Werkstück muss das Werkzeug seine normalen Arbeitsbedingungen erreicht haben.
- Wird das Werkzeug (absichtlich oder unabsichtlich) in Bewegung gesetzt und/oder angehalten, so müssen Zuführbewegung und Werkzeugbewegung aufeinander abgestimmt sein.

1.3.3. *Risiken durch herabfallende oder herausgeschleuderte Gegenstände*

Es sind Vorkehrungen zu treffen, um das Herabfallen oder das Herausschleudern von Gegenständen zu vermeiden, von denen ein Risiko ausgehen kann.

1.3.4. *Risiken durch Oberflächen, Kanten und Ecken*

Zugängliche Maschinenteile dürfen, soweit ihre Funktion es zulässt, keine scharfen Ecken und Kanten und keine rauen Oberflächen aufweisen, die zu Verletzungen führen können.

1.3.5. *Risiken durch mehrfach kombinierte Maschinen*

Kann die Maschine mehrere unterschiedliche Arbeitsgänge ausführen, wobei zwischen den einzelnen Arbeitsgängen das Werkstück von Hand entnommen wird (mehrfach kombinierte Maschine), so muss sie so konstruiert und gebaut sein, dass jedes Teilsystem auch einzeln betrieben werden kann, ohne dass die übrigen Teilsysteme für gefährdete Personen ein Risiko darstellen.

Dazu muss jedes Teilsystem, sofern es nicht gesichert ist, einzeln in Gang gesetzt und stillgesetzt werden können.

1.3.6. *Risiken durch Änderung der Verwendungsbedingungen*

Können mit der Maschine Arbeiten in verschiedenen Verwendungsbedingungen ausgeführt werden, so muss sie so konstruiert und gebaut sein, dass diese Verwendungsbedingungen gefahrlos und zuverlässig gewählt und eingestellt werden können.

1.3.7. **Risiken durch bewegliche Teile**

Die beweglichen Teile der Maschine müssen so konstruiert und gebaut sein, dass Unfallrisiken durch Berührung dieser Teile verhindert sind; falls Risiken dennoch bestehen, müssen die beweglichen Teile mit trennenden oder nichttrennenden Schutzeinrichtungen ausgestattet sein.

Es müssen alle erforderlichen Vorkehrungen getroffen werden, um ein ungewolltes Blockieren der beweglichen Arbeitselemente zu verhindern. Kann es trotz dieser Vorkehrungen zu einer Blockierung kommen, so müssen gegebenenfalls die erforderlichen speziellen Schutzeinrichtungen und das erforderliche Spezialwerkzeug mitgeliefert werden, damit sich die Blockierung gefahrlos lösen lässt.

Auf die speziellen Schutzeinrichtungen und deren Verwendung ist in der Betriebsanleitung und nach Möglichkeit auf der Maschine selbst hinzuweisen.

1.3.8. **Wahl der Schutzeinrichtungen gegen Risiken durch bewegliche Teile**

Die für den Schutz gegen Risiken durch bewegliche Teile verwendeten Schutzeinrichtungen sind entsprechend der jeweiligen Risikoart zu wählen. Die Wahl ist unter Beachtung der nachstehenden Leitlinien zu treffen.

1.3.8.1. **Bewegliche Teile der Kraftübertragung**

Zum Schutz von Personen gegen Gefährdungen durch bewegliche Teile der Kraftübertragung sind zu verwenden:

- feststehende trennende Schutzeinrichtungen gemäß Nummer 1.4.2.1 oder
- bewegliche trennende Schutzeinrichtungen mit Verriegelung gemäß Nummer 1.4.2.2.

Die letztgenannte Lösung ist zu wählen, wenn häufige Eingriffe vorgesehen sind.

1.3.8.2. **Bewegliche Teile, die am Arbeitsprozess beteiligt sind**

Zum Schutz von Personen gegen Gefährdungen durch bewegliche Teile, die am Arbeitsprozess beteiligt sind, sind zu verwenden:

- feststehende trennende Schutzeinrichtungen gemäß Nummer 1.4.2.1 oder
- bewegliche trennende Schutzeinrichtungen mit Verriegelung gemäß Nummer 1.4.2.2 oder
- nichttrennende Schutzeinrichtungen gemäß Nummer 1.4.3 oder
- eine Kombination dieser Lösungen.

Können jedoch bestimmte direkt am Arbeitsprozess beteiligte bewegliche Teile während ihres Betriebes aufgrund von Arbeiten, die das Eingreifen des Bedienungspersonals erfordern, nicht vollständig unzugänglich gemacht werden, so müssen diese Teile versehen sein mit

- feststehenden trennenden Schutzeinrichtungen oder beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen mit Verriegelung, die die für den Arbeitsgang nicht benutzten Teile unzugänglich machen, und
- verstellbaren trennenden Schutzeinrichtungen gemäß Nummer 1.4.2.3, die den Zugang zu den beweglichen Teilen auf die Abschnitte beschränken, zu denen ein Zugang erforderlich ist.

1.3.9. **Risiko unkontrollierter Bewegungen**

Es muss verhindert werden, dass sich aus gleich welcher Ursache ein stillgesetztes Maschinenteil ohne Betätigung der Stellteile aus seiner Ruhestellung bewegt, oder diese Bewegung darf keine Gefährdung darstellen.

1.4. **ANFORDERUNGEN AN SCHUTZEINRICHTUNGEN**

1.4.1. **Allgemeine Anforderungen**

Trennende und nichttrennende Schutzeinrichtungen

- müssen stabil gebaut sein,
- müssen sicher in Position gehalten werden,
- dürfen keine zusätzlichen Gefährdungen verursachen,

- dürfen nicht auf einfache Weise umgangen oder unwirksam gemacht werden können,
- müssen ausreichend Abstand zum Gefahrenbereich haben,
- dürfen die Beobachtung des Arbeitsvorgangs nicht mehr als unvermeidbar einschränken und
- müssen die für das Einsetzen und/oder den Wechsel der Werkzeuge und zu Wartungszwecken erforderlichen Eingriffe möglichst ohne Abnahme oder Außerbetriebnahme der Schutzeinrichtungen zulassen, wobei der Zugang ausschließlich auf den für die Arbeit notwendigen Bereich beschränkt sein muss.

Ferner müssen trennende Schutzeinrichtungen nach Möglichkeit vor einem Herausschleudern oder Herabfallen von Werkstoffen und Gegenständen sowie vor den von der Maschine verursachten Emissionen schützen.

1.4.2. *Besondere Anforderungen an trennende Schutzeinrichtungen*

1.4.2.1. *Feststehende trennende Schutzeinrichtungen*

Die Befestigungen feststehender trennender Schutzeinrichtungen dürfen sich nur mit Werkzeugen lösen oder abnehmen lassen.

Die Befestigungsmittel müssen nach dem Abnehmen der Schutzeinrichtungen mit den Schutzeinrichtungen oder mit der Maschine verbunden bleiben.

Soweit möglich dürfen trennende Schutzeinrichtungen nach Lösen der Befestigungsmittel nicht in der Schutzstellung verbleiben.

1.4.2.2. *Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen mit Verriegelung*

Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen mit Verriegelung müssen

- soweit möglich, mit der Maschine verbunden bleiben, wenn sie geöffnet sind,
- so konstruiert und gebaut sein, dass sie nur durch eine absichtliche Handlung eingestellt werden können.

Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen mit Verriegelung müssen mit einer Verriegelungseinrichtung verbunden sein,

- die das Ingangsetzen der gefährlichen Maschinenfunktionen verhindert, bis die Schutzeinrichtung geschlossen ist, und
- die einen Befehl zum Stillsetzen auslöst, wenn die Schutzeinrichtungen nicht mehr geschlossen sind,

Besteht die Möglichkeit, dass das Bedienungspersonal den Gefahrenbereich erreicht, bevor die durch die gefährlichen Maschinenfunktionen verursachten Risiken nicht mehr bestehen, so müssen bewegliche trennende Schutzeinrichtungen zusätzlich zu der Verriegelungseinrichtung mit einer Zuhaltung ausgerüstet sein,

- die das Ingangsetzen der gefährlichen Maschinenfunktionen verhindert, bis die Schutzeinrichtung geschlossen und verriegelt ist, und
- die die Schutzeinrichtung in geschlossener und verriegelter Stellung hält, bis das Risiko von Verletzungen aufgrund gefährlicher Funktionen der Maschine nicht mehr besteht.

Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen mit Verriegelung müssen so konstruiert sein, dass bei Fehlen oder Störung eines ihrer Bestandteile das Ingangsetzen gefährlicher Maschinenfunktionen verhindert wird oder diese stillgesetzt werden.

1.4.2.3. *Zugangsbeschränkende verstellbare Schutzeinrichtungen*

Verstellbare Schutzeinrichtungen, die den Zugang auf die für die Arbeit unbedingt notwendigen beweglichen Teile beschränken, müssen

- je nach Art der Arbeit manuell oder automatisch verstellbar sein und
- leicht und ohne Werkzeug verstellt werden können.

1.4.3. *Besondere Anforderungen an nichttrennende Schutzeinrichtungen*

Nichttrennende Schutzeinrichtungen müssen so konstruiert und in die Steuerung der Maschine integriert sein, dass

- die beweglichen Teile nicht in Gang gesetzt werden können, solange sie vom Bedienungspersonal erreicht werden können,

- Personen die beweglichen Teile nicht erreichen können, solange diese Teile in Bewegung sind, und
- bei Fehlen oder Störung eines ihrer Bestandteile das Ingangsetzen der beweglichen Teile verhindert wird oder die beweglichen Teile stillgesetzt werden.

Ihre Einstellung darf nur durch eine absichtliche Handlung möglich sein.

1.5. RISIKEN DURCH SONSTIGE GEFÄHRDUNGEN

1.5.1. *Elektrische Energieversorgung*

Eine mit elektrischer Energie versorgte Maschine muss so konstruiert, gebaut und ausgerüstet sein, dass alle von Elektrizität ausgehenden Gefährdungen vermieden werden oder vermieden werden können.

Die Schutzziele der Richtlinie 73/23/EWG gelten für Maschinen. In Bezug auf die Gefährdungen, die von elektrischem Strom ausgehen, werden die Verpflichtungen betreffend die Konformitätsbewertung und das Inverkehrbringen und/oder die Inbetriebnahme von Maschinen jedoch ausschließlich durch die vorliegende Richtlinie geregelt.

1.5.2. *Statische Elektrizität*

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass eine möglicherweise gefährliche elektrostatische Aufladung vermieden oder begrenzt wird, und/oder mit Einrichtungen zum Ableiten solcher Ladungen ausgestattet sein.

1.5.3. *Nichtelektrische Energieversorgung*

Eine mit einer nichtelektrischen Energiequelle betriebene Maschine muss so konstruiert, gebaut und ausgerüstet sein, dass alle von dieser Energiequelle ausgehenden potenziellen Risiken vermieden werden.

1.5.4. *Montagefehler*

Fehler bei der Montage oder erneuten Montage bestimmter Teile, die ein Risiko verursachen könnten, müssen durch die Konstruktion und Bauart dieser Teile unmöglich gemacht oder andernfalls durch Hinweise auf den Teilen selbst und/oder auf ihrem Gehäuse verhindert werden. Die gleichen Hinweise müssen auf beweglichen Teilen und/oder auf ihrem Gehäuse angebracht sein, wenn die Kenntnis von der Bewegungsrichtung für die Vermeidung eines Risikos notwendig ist.

Erforderlichenfalls sind in der Betriebsanleitung zusätzliche Angaben zu diesen Risiken zu machen.

Kann ein fehlerhafter Anschluss ein Risiko verursachen, so muss dies durch die Bauart der Anschlussteile unmöglich gemacht oder andernfalls durch Hinweise auf zu verbindenden Teilen und gegebenenfalls auf den Verbindungsmitteln unmöglich gemacht werden.

1.5.5. *Extreme Temperaturen*

Jedes Risiko einer Verletzung durch Berührung von heißen oder sehr kalten Maschinenteilen oder Materialien oder durch Aufenthalt in ihrer Nähe muss durch geeignete Vorkehrungen ausgeschlossen werden.

Es sind die notwendigen Vorkehrungen zur Vermeidung von Spritzern von heißen oder sehr kalten Materialien oder zum Schutz vor derartigen Spritzern zu treffen.

1.5.6. *Brand*

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass jedes Brand- und Überhitzungsrisiko vermieden wird, das von der Maschine selbst oder von Gasen, Flüssigkeiten, Stäuben, Dämpfen und anderen von der Maschine freigesetzten oder verwendeten Stoffen ausgeht.

1.5.7. *Explosion*

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass jedes Explosionsrisiko vermieden wird, das von der Maschine selbst oder von Gasen, Flüssigkeiten, Stäuben, Dämpfen und anderen von der Maschine freigesetzten oder verwendeten Stoffen ausgeht.

Hinsichtlich des Explosionsrisikos, das sich aus dem Einsatz der Maschine in einer explosionsgefährdeten Umgebung ergibt, muss die Maschine den hierfür geltenden speziellen Gemeinschaftsrichtlinien entsprechen.

1.5.8. Lärm

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass Risiken durch Luftschallemission insbesondere an der Quelle so weit gemindert werden, wie es nach dem Stand des technischen Fortschritts und mit den zur Lärm-minderung verfügbaren Mitteln möglich ist.

Der Schallemissionspegel kann durch Bezugnahme auf Vergleichsemissionsdaten für ähnliche Maschinen bewertet werden.

1.5.9. Vibrationen

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass Risiken durch Maschinenvibrationen insbesondere an der Quelle so weit gemindert werden, wie es nach dem Stand des technischen Fortschritts und mit den zur Verringerung von Vibrationen verfügbaren Mitteln möglich ist.

Der Vibrationspegel kann durch Bezugnahme auf Vergleichsemissionsdaten für ähnliche Maschinen bewertet werden.

1.5.10. Strahlung

Unerwünschte Strahlungsemissionen der Maschine müssen ausgeschlossen oder so weit verringert werden, dass sie keine schädlichen Auswirkungen für den Menschen haben.

Alle funktionsbedingten Emissionen von ionisierender Strahlung sind auf das niedrigste Niveau zu begrenzen, das für das ordnungsgemäße Funktionieren der Maschine während des Einrichtens, des Betriebs und der Reinigung erforderlich ist. Besteht ein Risiko, so sind die notwendigen Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Alle funktionsbedingten Emissionen von nicht ionisierender Strahlung während der Einstellung, des Betriebs oder der Reinigung müssen so weit begrenzt werden, dass sie keine schädlichen Auswirkungen für den Menschen haben.

1.5.11. Strahlung von außen

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass ihre Funktion durch Strahlung von außen nicht beeinträchtigt wird.

1.5.12. Laserstrahlung

Bei Verwendung von Lasereinrichtungen ist Folgendes zu beachten:

- Lasereinrichtungen an Maschinen müssen so konstruiert und gebaut sein, dass sie keine unbeabsichtigte Strahlung abgeben können.
- Lasereinrichtungen an Maschinen müssen so abgeschirmt sein, dass weder durch die Nutzstrahlung noch durch reflektierte oder gestreute Strahlung noch durch Sekundärstrahlung Gesundheitsschäden verursacht werden.
- Optische Einrichtungen zur Beobachtung oder Einstellung von Lasereinrichtungen an Maschinen müssen so beschaffen sein, dass durch die Laserstrahlung kein Gesundheitsrisiko verursacht wird.

1.5.13. Emission gefährlicher Werkstoffe und Substanzen

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass das Risiko des Einatmens, des Verschluckens, des Kontaktes mit Haut, Augen und Schleimhäuten sowie des Eindringens von gefährlichen Werkstoffen und von der Maschine erzeugten Substanzen durch die Haut vermieden werden kann.

Kann eine Gefährdung nicht beseitigt werden, so muss die Maschine so ausgerüstet sein, dass gefährliche Werkstoffe und Substanzen aufgefangen, abgeführt, durch Sprühwasser ausgefällt, gefiltert oder durch ein anderes ebenso wirksames Verfahren behandelt werden können.

Ist die Maschine im Normalbetrieb nicht vollkommen geschlossen, so sind die Einrichtungen zum Auffangen und/oder Abführen so anzuordnen, dass sie die größtmögliche Wirkung entfalten.

1.5.14. Risiko, in einer Maschine eingeschlossen zu werden

Die Maschine muss so konstruiert, gebaut oder ausgerüstet sein, dass eine Person nicht in ihr eingeschlossen wird oder, falls das nicht möglich ist, dass eine eingeschlossene Person Hilfe herbeirufen kann.

1.5.15. Ausrutsch-, Stolper- und Sturzrisiko

Die Teile der Maschine, auf denen Personen sich eventuell bewegen oder aufhalten müssen, müssen so konstruiert und gebaut sein, dass ein Ausrutschen, Stolpern oder ein Sturz auf oder von diesen Teilen vermieden wird.

Diese Teile müssen erforderlichenfalls mit Haltevorrichtungen ausgestattet sein, die benutzerbezogen angebracht sind und dem Benutzer einen sicheren Halt ermöglichen.

1.5.16. Blitzschlag

Maschinen, die während ihrer Verwendung vor der Auswirkung von Blitzschlag geschützt werden müssen, sind mit einem Erdungssystem zur Ableitung der betreffenden elektrischen Ladung auszustatten.

1.6. INSTANDHALTUNG**1.6.1. Wartung der Maschine**

Die Einrichtungs- und Wartungsstellen müssen außerhalb der Gefahrenbereiche liegen. Die Einrichtungs-, Instandhaltungs-, Reparatur-, Reinigungs- und Wartungsarbeiten müssen bei stillgesetzter Maschine durchgeführt werden können.

Kann mindestens eine der vorgenannten Bedingungen aus technischen Gründen nicht erfüllt werden, so sind die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, damit diese Arbeiten sicher ausgeführt werden können (siehe Nummer 1.2.5).

Bei automatischen Maschinen und gegebenenfalls bei anderen Maschinen ist eine Schnittstelle zum Anschluss einer Fehlerdiagnoseeinrichtung vorzusehen.

Teile von automatischen Maschinen, die häufig ausgewechselt werden müssen, sind für einfache und gefahrlose Montage und Demontage auszulegen. Der Zugang zu diesen Teilen ist so zu gestalten, dass diese Arbeiten mit den notwendigen technischen Hilfsmitteln nach einem festgelegten Verfahren durchgeführt werden können.

1.6.2. Zugang zu den Bedienungsständen und den Eingriffspunkten für die Instandhaltung

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass alle Stellen, die für den Betrieb, das Einrichten und die Instandhaltung der Maschine zugänglich sein müssen, gefahrlos erreicht werden können.

1.6.3. Trennung von den Energiequellen

Die Maschine muss mit Einrichtungen ausgestattet sein, mit denen sie von jeder einzelnen Energiequelle getrennt werden kann. Diese Einrichtungen sind klar zu kennzeichnen. Sie müssen abschließbar sein, falls eine Wiedereinschaltung eine Gefahr für Personen verursachen kann. Die Trenneinrichtung muss auch abschließbar sein, wenn das Bedienungspersonal die permanente Unterbrechung der Energiezufuhr nicht von jeder Zugangsstelle aus überwachen kann.

Bei elektrisch betriebenen Maschinen, die über eine Steckverbindung angeschlossen sind, genügt die Trennung der Steckverbindung, sofern das Bedienungspersonal die permanente Trennung der Steckverbindung von jeder Zugangsstelle aus überwachen kann.

Die Restenergie oder die gespeicherte Energie, die nach der Unterbrechung der Energiezufuhr noch vorhanden sein kann, muss ohne Risiko für Personen abgeleitet werden können.

Abweichend von den vorstehenden Anforderungen ist es zulässig, dass bestimmte Kreise nicht von ihrer Energiequelle getrennt werden, z. B. um Teile in ihrer Position zu halten, um Daten zu sichern oder um die Beleuchtung innen liegender Teile zu ermöglichen. In diesem Fall müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, um die Sicherheit des Bedienungspersonals zu gewährleisten.

1.6.4. Eingriffe des Bedienungspersonals

Die Maschine muss so konstruiert, gebaut und ausgerüstet sein, dass sich möglichst wenig Anlässe für ein Eingreifen des Bedienungspersonals ergeben. Kann ein Eingreifen des Bedienungspersonals nicht vermieden werden, so muss es leicht und sicher auszuführen sein.

1.6.5. Reinigung innen liegender Maschinenteile

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass die Reinigung innen liegender Maschinenteile, die gefährliche Stoffe oder Zubereitungen enthalten haben, möglich ist, ohne dass ein Einsteigen in die Maschine erforderlich ist; ebenso müssen diese Stoffe und Zubereitungen, falls erforderlich, von außen abgelassen werden können. Lässt sich das Einsteigen in die Maschine nicht vermeiden, so muss die Maschine so konstruiert und gebaut sein, dass eine gefahrlose Reinigung möglich ist.

1.7. INFORMATIONEN**1.7.1. Informationen und Warnhinweise an der Maschine**

Informationen und Warnhinweise an der Maschine sollten vorzugsweise in Form leicht verständlicher Symbole oder Piktogramme gegeben werden. Alle schriftlichen oder verbalen Informationen und Warnhinweise müssen in der bzw. den Amtssprachen der Gemeinschaft abgefasst sein, die gemäß dem Vertrag von dem Mitgliedstaat, in dem die Maschinen in den Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen wird, bestimmt werden kann bzw. können, und auf Verlangen können sie zusätzlich auch in jeder anderen vom Bedienungspersonal verstandenen Amtssprache bzw. Amtssprachen der Gemeinschaft abgefasst sein.

1.7.1.1. Informationen und Informationseinrichtungen

Die für die Bedienung einer Maschine erforderlichen Informationen müssen eindeutig und leicht verständlich sein. Dabei ist darauf zu achten, dass das Bedienungspersonal nicht mit Informationen überlastet wird.

Optische Anzeigeeinrichtungen oder andere interaktive Mittel für die Kommunikation zwischen dem Bedienungspersonal und der Maschine müssen leicht zu verstehen sein und leicht zu benutzen sein.

1.7.1.2. Warneinrichtungen

Wenn Sicherheit und Gesundheit der gefährdeten Personen durch Funktionsstörungen einer Maschine, deren Betrieb nicht überwacht wird, beeinträchtigt werden können, muss die Maschine mit einer entsprechenden akustischen oder optischen Warnvorrichtung versehen sein.

Ist die Maschine mit Warneinrichtungen ausgestattet, so müssen deren Signale eindeutig zu verstehen und leicht wahrnehmbar sein. Das Bedienungspersonal muss über Möglichkeiten verfügen, um die ständige Funktionsbereitschaft dieser Warneinrichtungen zu überprüfen.

Die Vorschriften der speziellen Gemeinschaftsrichtlinien über Sicherheitsfarben und -zeichen sind anzuwenden.

1.7.2. Warnung vor Restrisiken

Bestehen trotz der Maßnahmen zur Integration der Sicherheit bei der Konstruktion, trotz der Sicherheitsvorkehrungen und trotz der ergänzenden Schutzmaßnahmen weiterhin Risiken, so sind die erforderlichen Warnhinweise, einschließlich Warneinrichtungen, vorzusehen.

1.7.3. Kennzeichnung der Maschinen

Auf jeder Maschine müssen mindestens folgende Angaben erkennbar, deutlich lesbar und dauerhaft angebracht sein:

- Firmenname und vollständige Anschrift des Herstellers und gegebenenfalls seines Bevollmächtigten,
- Bezeichnung der Maschine,
- CE-Kennzeichnung (siehe Anhang III),
- Baureihen- oder Typbezeichnung,
- gegebenenfalls Seriennummer,
- Baujahr, d. h. das Jahr, in dem der Herstellungsprozess abgeschlossen wurde.

Es ist untersagt, bei der Anbringung der CE-Kennzeichnung das Baujahr der Maschine vor- oder nachzudatieren.

Ist die Maschine für den Einsatz in explosionsgefährdeter Umgebung konstruiert und gebaut, muss sie einen entsprechenden Hinweis tragen.

Je nach Beschaffenheit müssen auf der Maschine ebenfalls alle für die Sicherheit bei der Verwendung wesentlichen Hinweise angebracht sein. Diese Hinweise unterliegen den Anforderungen der Nummer 1.7.1.

Muss ein Maschinenteil während der Benutzung mit Hebezeugen gehandhabt werden, so ist sein Gewicht leserlich, dauerhaft und eindeutig anzugeben.

1.7.4. Betriebsanleitung

Jeder Maschine muss eine Betriebsanleitung in der oder den Amtssprachen der Gemeinschaft des Mitgliedstaats beiliegen, in dem die Maschine in Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen wird.

Die der Maschine beiliegende Betriebsanleitung muss eine „Originalbetriebsanleitung“ oder eine „Übersetzung der Originalbetriebsanleitung“ sein; im letzteren Fall ist der Übersetzung die Originalbetriebsanleitung beizufügen.

Abweichend von den vorstehenden Bestimmungen kann die Wartungsanleitung, die zur Verwendung durch vom Hersteller oder von seinem Bevollmächtigten beauftragtes Fachpersonal bestimmt ist, in nur einer Sprache der Gemeinschaft abgefasst werden, die von diesem Fachpersonal verstanden wird.

Die Betriebsanleitung ist nach den im Folgenden genannten Grundsätzen abzufassen.

1.7.4.1. Allgemeine Grundsätze für die Abfassung der Betriebsanleitung

- a) Die Betriebsanleitung muss in einer oder mehreren Amtssprachen der Gemeinschaft abgefasst sein. Die Sprachfassungen, für die der Hersteller oder sein Bevollmächtigter die Verantwortung übernimmt, müssen mit dem Vermerk „Originalbetriebsanleitung“ versehen sein.
- b) Ist keine Originalbetriebsanleitung in der bzw. den Amtssprachen des Verwendungslandes vorhanden, hat der Hersteller oder sein Bevollmächtigter oder derjenige, der die Maschine in das betreffende Sprachgebiet einführt, für eine Übersetzung in diese Sprache(n) zu sorgen. Diese Übersetzung ist mit dem Vermerk „Übersetzung der Originalbetriebsanleitung“ zu kennzeichnen.
- c) Der Inhalt der Betriebsanleitung muss nicht nur die bestimmungsgemäße Verwendung der betreffenden Maschine berücksichtigen, sondern auch jede vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung der Maschine.
- d) Bei der Abfassung und Gestaltung der Betriebsanleitung für Maschinen, die zur Verwendung durch Verbraucher bestimmt sind, muss dem allgemeinen Wissensstand und der Verständnisfähigkeit Rechnung getragen werden, die vernünftigerweise von solchen Benutzern erwartet werden können.

1.7.4.2. Inhalt der Betriebsanleitung

Jede Betriebsanleitung muss erforderlichenfalls folgende Mindestangaben enthalten:

- a) Firmenname und vollständige Anschrift des Herstellers und seines Bevollmächtigten;
- b) Bezeichnung der Maschine entsprechend der Angabe auf der Maschine selbst, ausgenommen die Seriennummer (siehe Nummer 1.7.3);
- c) die EG-Konformitätserklärung oder ein Dokument, das die EG-Konformitätserklärung inhaltlich wiedergibt und Einzelangaben der Maschine enthält, das aber nicht zwangsläufig auch die Seriennummer und die Unterschrift enthalten muss;
- d) eine allgemeine Beschreibung der Maschine;
- e) die für Verwendung, Wartung und Instandsetzung der Maschine und zur Überprüfung ihres ordnungsgemäßen Funktionierens erforderlichen Zeichnungen, Schaltpläne, Beschreibungen und Erläuterungen;
- f) eine Beschreibung des Arbeitsplatzes bzw. der Arbeitsplätze, die voraussichtlich vom Bedienungspersonal eingenommen werden;
- g) eine Beschreibung der bestimmungsgemäßen Verwendung der Maschine;
- h) Warnhinweise in Bezug auf Fehlanwendungen der Maschine, zu denen es erfahrungsgemäß kommen kann;
- i) Anleitungen zur Montage, zum Aufbau und zum Anschluss der Maschine, einschließlich der Zeichnungen, Schaltpläne und der Befestigungen, sowie Angabe des Maschinengestells oder der Anlage, auf das bzw. in die die Maschine montiert werden soll;
- j) Installations- und Montagevorschriften zur Verminderung von Lärm und Vibrationen;
- k) Hinweise zur Inbetriebnahme und zum Betrieb der Maschine sowie erforderlichenfalls Hinweise zur Ausbildung bzw. Einarbeitung des Bedienungspersonals;
- l) Angaben zu Restrisiken, die trotz der Maßnahmen zur Integration der Sicherheit bei der Konstruktion, trotz der Sicherheitsvorkehrungen und trotz der ergänzenden Schutzmaßnahmen noch verbleiben;
- m) Anleitung für die vom Benutzer zu treffenden Schutzmaßnahmen, gegebenenfalls einschließlich der bereitzustellenden persönlichen Schutzausrüstung;
- n) die wesentlichen Merkmale der Werkzeuge, die an der Maschine angebracht werden können;
- o) Bedingungen, unter denen die Maschine die Anforderungen an die Standsicherheit beim Betrieb, beim Transport, bei der Montage, bei der Demontage, wenn sie außer Betrieb ist, bei Prüfungen sowie bei vorhersehbaren Störungen erfüllt;
- p) Sicherheitshinweise zum Transport, zur Handhabung und zur Lagerung, mit Angabe des Gewichts der Maschine und ihrer verschiedenen Bauteile, falls sie regelmäßig getrennt transportiert werden müssen;
- q) bei Unfällen oder Störungen erforderliches Vorgehen; falls es zu einer Blockierung kommen kann, ist in der Betriebsanleitung anzugeben, wie zum gefahrlosen Lösen der Blockierung vorzugehen ist;

- r) Beschreibung der vom Benutzer durchzuführenden Einrichtungs- und Wartungsarbeiten sowie der zu treffenden vorbeugenden Wartungsmaßnahmen;
- s) Anweisungen zum sicheren Einrichten und Warten einschließlich der dabei zu treffenden Schutzmaßnahmen;
- t) Spezifikationen der zu verwendenden Ersatzteile, wenn diese sich auf die Sicherheit und Gesundheit des Bedienungspersonals auswirken;
- u) folgende Angaben zur Luftschallemission der Maschine:
 - der A-bewertete Emissionsschalldruckpegel an den Arbeitsplätzen, sofern er 70 dB(A) übersteigt; ist dieser Pegel kleiner oder gleich 70 dB(A), so ist dies anzugeben;
 - der Höchstwert des momentanen C-bewerteten Emissionsschalldruckpegels an den Arbeitsplätzen, sofern er 63 Pa (130 dB bezogen auf 20 µPa) übersteigt;
 - der A-bewertete Schalleistungspegel der Maschine, wenn der A-bewertete Emissionsschalldruckpegel an den Arbeitsplätzen 80 dB(A) übersteigt.

Diese Werte müssen entweder an der betreffenden Maschine tatsächlich gemessen oder durch Messung an einer technisch vergleichbaren, für die geplante Fertigung repräsentativen Maschine ermittelt worden sein.

Bei Maschinen mit sehr großen Abmessungen können statt des A-bewerteten Schalleistungspegels die A-bewerteten Emissionsschalldruckpegel an bestimmten Stellen im Maschinenumfeld angegeben werden.

Kommen keine harmonisierten Normen zur Anwendung, ist zur Ermittlung der Geräuschemission nach der dafür am besten geeigneten Messmethode zu verfahren. Bei jeder Angabe von Schallemissionswerten ist die für diese Werte bestehende Unsicherheit anzugeben. Die Betriebsbedingungen der Maschine während der Messung und die Messmethode sind zu beschreiben.

Wenn der Arbeitsplatz bzw. die Arbeitsplätze nicht festgelegt sind oder sich nicht festlegen lassen, müssen die Messungen des A-bewerteten Schalldruckpegels in einem Abstand von 1 m von der Maschinenoberfläche und 1,60 m über dem Boden oder der Zugangsplattform vorgenommen werden. Der höchste Emissionsschalldruckpegel und der zugehörige Messpunkt sind anzugeben.

Enthalten spezielle Gemeinschaftsrichtlinien andere Bestimmungen zur Messung des Schalldruck- oder Schalleistungspegels, so gelten die Bestimmungen dieser speziellen Richtlinien und nicht die entsprechenden Bestimmungen der vorliegenden Richtlinie.

- v) Kann die Maschine nichtionisierende Strahlung abgeben, die Personen, insbesondere Träger aktiver oder nicht aktiver implantierbarer medizinischer Geräte, schädigen kann, so sind Angaben über die Strahlung zu machen, der das Bedienungspersonal und gefährdete Personen ausgesetzt sind.

1.7.4.3. Verkaufsprospekte

Verkaufsprospekte, in denen die Maschine beschrieben wird, dürfen in Bezug auf die Sicherheits- und Gesundheitsschutzaspekte nicht der Betriebsanleitung widersprechen. Verkaufsprospekte, in denen die Leistungsmerkmale der Maschine beschrieben werden, müssen die gleichen Angaben zu Emissionen enthalten wie die Betriebsanleitung.

2. ZUSÄTZLICHE GRUNDLEGENDE SICHERHEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZANFORDERUNGEN AN BESTIMMTE MASCHINENGATTUNGEN

Nahrungsmittelmaschinen, Maschinen für kosmetische oder pharmazeutische Erzeugnisse, handgehaltene und/oder handgeführte Maschinen, tragbare Befestigungsgeräte und andere Schussgeräte sowie Maschinen zur Bearbeitung von Holz und von Werkstoffen mit ähnlichen physikalischen Eigenschaften müssen alle in diesem Kapitel genannten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllen (siehe Allgemeine Grundsätze, Nummer 4).

2.1. NAHRUNGSMITTELMASCHINEN UND MASCHINEN FÜR KOSMETISCHE ODER PHARMAZEUTISCHE ERZEUGNISSE

2.1.1. Allgemeines

Maschinen, die für die Verwendung mit Lebensmitteln oder mit kosmetischen oder pharmazeutischen Erzeugnissen bestimmt sind, müssen so konstruiert und gebaut sein, dass das Risiko einer Infektion, Krankheit oder Ansteckung ausgeschlossen ist.

Diese Werte müssen entweder an der betreffenden Maschine tatsächlich gemessen oder durch Messung an einer technisch vergleichbaren, für die geplante Fertigung repräsentativen Maschine ermittelt worden sein.

Kommen keine harmonisierten Normen zur Anwendung, ist zur Ermittlung der Vibrationsdaten nach der dafür am besten geeigneten Messmethode zu verfahren.

Die Betriebsbedingungen der Maschine während der Messung und die Messmethode sind zu beschreiben oder es ist die zugrunde liegende harmonisierte Norm genau anzugeben.

2.2.2. Tragbare Befestigungsgeräte und andere Schussgeräte

2.2.2.1. Allgemeines

Tragbare Befestigungsgeräte und andere Schussgeräte müssen so konstruiert und gebaut sein, dass

- die Energie über ein Zwischenglied, das im Gerät verbleibt, an das einzuschlagende Teil abgegeben wird,
- eine Sicherungsvorrichtung eine Schlagauslösung nur zulässt, wenn die Maschine korrekt auf dem Werkstück positioniert ist und mit ausreichender Kraft angedrückt wird,
- eine unbeabsichtigte Schlagauslösung verhindert wird; wenn notwendig muss zur Schlagauslösung die Einhaltung einer vorgegebenen Abfolge von Handgriffen an der Sicherungsvorrichtung und am Stellteil erforderlich sein,
- eine unbeabsichtigte Schlagauslösung bei der Handhabung oder bei Stoßeinwirkung verhindert wird,
- ein leichtes und sicheres Laden und Entladen möglich ist.

Erforderlichenfalls muss es möglich sein, das Gerät mit einem Splitterschutz auszustatten, und die geeigneten Schutzeinrichtungen müssen vom Hersteller der Maschine bereitgestellt werden.

2.2.2.2. Betriebsanleitung

In der Betriebsanleitung sind Angaben zu folgenden Punkten zu machen:

- Zubehörteile und auswechselbare Ausrüstungen, die für die Maschine geeignet sind,
- passende Befestigungsteile oder andere Einschlagteile, die mit dem Gerät verwendet werden können,
- gegebenenfalls passende Magazine.

2.3. MASCHINEN ZUR BEARBEITUNG VON HOLZ UND VON WERKSTOFFEN MIT ÄHNLICHEN PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN

Maschinen zur Bearbeitung von Holz und von Werkstoffen mit ähnlichen physikalischen Eigenschaften müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- a) Sie müssen so konstruiert, gebaut oder ausgerüstet sein, dass das Werkstück sicher aufgelegt und geführt werden kann. Wird das Werkstück auf einem Arbeitstisch mit der Hand gehalten, so muss dieser Tisch während der Arbeit ausreichend standsicher sein und darf die Bewegung des Werkstücks nicht behindern.
- b) Wird die Maschine voraussichtlich unter Bedingungen verwendet, die das Risiko eines Rückschlags von Werkstücken oder von Teilen davon mit sich bringen, so muss sie so konstruiert, gebaut oder ausgerüstet sein, dass ein Rückschlag vermieden wird oder, wenn das nicht möglich ist, der Rückschlag für das Bedienungspersonal und/oder gefährdete Personen kein Risiko bewirkt.
- c) Die Maschine muss mit selbsttätigen Bremsen ausgerüstet sein, die das Werkzeug in ausreichend kurzer Zeit zum Stillstand bringen, wenn beim Auslaufen das Risiko eines Kontakts mit dem Werkzeug besteht.
- d) Ist das Werkzeug in eine nicht vollautomatisch arbeitende Maschine eingebaut, so ist diese Maschine so zu konstruieren und zu bauen, dass das Risiko von Verletzungen ausgeschaltet oder verringert wird.

3. ZUSÄTZLICHE GRUNDLEGENDE SICHERHEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZANFORDERUNGEN ZUR AUSSCHALTUNG DER GEFÄHRDUNGEN, DIE VON DER BEWEGLICHKEIT VON MASCHINEN AUSGEHEN

Maschinen, von denen aufgrund ihrer Beweglichkeit Gefährdungen ausgehen, müssen alle in diesem Kapitel genannten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllen (siehe Allgemeine Grundsätze, Nummer 4).

3.1. ALLGEMEINES

3.1.1. *Begriffsbestimmungen*

- a) Eine „Maschine, von der aufgrund ihrer Beweglichkeit Gefährdungen ausgehen“, ist:
- eine Maschine, die bei der Arbeit entweder beweglich sein muss oder kontinuierlich oder halbkontinuierlich zu aufeinander folgenden festen Arbeitsstellen verfahren werden muss, oder
 - eine Maschine, die während der Arbeit nicht verfahren wird, die aber mit Einrichtungen ausgestattet werden kann, mit denen sie sich leichter an eine andere Stelle bewegen lässt.
- b) Ein „Fahrer“ ist eine Bedienungsperson, die mit dem Verfahren einer Maschine betraut ist. Der Fahrer kann auf der Maschine aufsitzen, sie zu Fuß begleiten oder fernsteuern.

3.2. BEDIENERPLÄTZE

3.2.1. *Fahrerplatz*

Die Sicht vom Fahrerplatz aus muss so gut sein, dass der Fahrer die Maschine und ihre Werkzeuge unter den vorhersehbaren Einsatzbedingungen ohne jede Gefahr für sich und andere gefährdete Personen handhaben kann. Den Gefährdungen durch unzureichende Direktsicht muss erforderlichenfalls durch geeignete Einrichtungen begegnet werden.

Eine Maschine mit aufsitzendem Fahrer muss so konstruiert und gebaut sein, dass am Fahrerplatz für den Fahrer kein Risiko durch unbeabsichtigten Kontakt mit Rädern und Ketten besteht.

Sofern dies das Risiko nicht erhöht und es die Abmessungen zulassen, ist der Fahrerplatz für den aufsitzenen Fahrer so zu konstruieren und auszuführen, dass er mit einer Kabine ausgestattet werden kann. In der Kabine muss eine Stelle zur Aufbewahrung der notwendigen Anweisungen für den Fahrer vorgesehen sein.

3.2.2. *Sitze*

Besteht das Risiko, dass das Bedienungspersonal oder andere auf der Maschine beförderte Personen beim Überrollen oder Umkippen der Maschine — insbesondere bei Maschinen, die mit dem in den Nummern 3.4.3 oder 3.4.4 genannten Schutzaufbau ausgerüstet sind — zwischen Teilen der Maschine und dem Boden eingequetscht werden können, so müssen die Sitze so konstruiert oder mit einer Rückhaltevorrückung ausgestattet sein, dass die Personen auf ihrem Sitz gehalten werden, ohne dass die notwendigen Bedienungsbewegungen behindert oder von der Sitzaufhängung hervorgerufene Bewegungen eingeschränkt werden. Rückhaltevorrückungen dürfen nicht eingebaut werden, wenn sich dadurch das Risiko erhöht.

3.2.3. *Plätze für andere Personen*

Können im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung gelegentlich oder regelmäßig außer dem Fahrer andere Personen zum Mitfahren oder zur Arbeit auf der Maschine transportiert werden, so sind geeignete Plätze vorzusehen, die eine Beförderung oder ein Arbeiten ohne Risiko gestatten.

Nummer 3.2.1 Absätze 2 und 3 gilt auch für die Plätze für andere Personen als den Fahrer.

3.3. STEUERUNG

Erforderlichenfalls sind Maßnahmen zu treffen, die eine unerlaubte Benutzung der Steuerung verhindern.

Bei Fernsteuerung muss an jedem Bedienungsgerät klar ersichtlich sein, welche Maschine von diesem Gerät aus bedient werden soll.

Die Fernsteuerung muss so konstruiert und ausgeführt sein, dass

- sie ausschließlich die betreffende Maschine steuert,
- sie ausschließlich die betreffenden Funktionen steuert.

Eine ferngesteuerte Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass sie nur auf Steuerbefehle von dem für sie vorgesehenen Bedienungsgerät reagiert.

3.3.1. **Stellteile**

Der Fahrer muss vom Fahrerplatz aus alle für den Betrieb der Maschine erforderlichen Stellteile betätigen können; ausgenommen sind Funktionen, die nur über an anderer Stelle befindliche Stellteile sicher ausgeführt werden können. Zu diesen Funktionen gehören insbesondere diejenigen, für die anderes Bedienungspersonal als der Fahrer zuständig ist oder für die der Fahrer seinen Fahrerplatz verlassen muss, um sie sicher steuern zu können.

Gegebenenfalls vorhandene Pedale müssen so gestaltet, ausgeführt und angeordnet sein, dass sie vom Fahrer mit möglichst geringem Fehlbedienungsrisiko sicher betätigt werden können; sie müssen eine rutschhemmende Oberfläche haben und leicht zu reinigen sein.

Kann die Betätigung von Stellteilen Gefährdungen, insbesondere gefährliche Bewegungen verursachen, so müssen diese Stellteile — ausgenommen solche mit mehreren vorgegebenen Stellungen — in die Neutralstellung zurückkehren, sobald die Bedienungsperson sie loslässt.

Bei Maschinen auf Rädern muss die Lenkung so konstruiert und ausgeführt sein, dass plötzliche Ausschläge des Lenkrades oder des Lenkhebels infolge von Stößen auf die gelenkten Räder gedämpft werden.

Stellteile zum Sperren des Differenzials müssen so ausgelegt und angeordnet sein, dass sie die Entsperrung des Differenzials gestatten, während die Maschine in Bewegung ist.

Nummer 1.2.2 Absatz 6 betreffend akustische und/oder optische Warnsignale gilt nur für Rückwärtsfahrt.

3.3.2. **Ingangsetzen/Verfahren**

Eine selbstfahrende Maschine mit aufsitzendem Fahrer darf Fahrbewegungen nur ausführen können, wenn sich der Fahrer am Bedienungsstand befindet.

Ist eine Maschine zum Arbeiten mit Vorrichtungen ausgerüstet, die über ihr normales Lichtraumprofil hinausragen (z. B. Stabilisatoren, Ausleger usw.), so muss der Fahrer vor dem Verfahren der Maschine leicht überprüfen können, ob die Stellung dieser Vorrichtungen ein sicheres Verfahren erlaubt.

Dasselbe gilt für alle anderen Teile, die sich in einer bestimmten Stellung, erforderlichenfalls verriegelt, befinden müssen, damit die Maschine sicher verfahren werden kann.

Das Verfahren der Maschine ist von der sicheren Positionierung der oben genannten Teile abhängig zu machen, wenn das nicht zu anderen Risiken führt.

Eine unbeabsichtigte Fahrbewegung der Maschine darf nicht möglich sein, während der Motor in Gang gesetzt wird.

3.3.3. **Stillsetzen/Bremsen**

Unbeschadet der Straßenverkehrsvorschriften müssen selbstfahrende Maschinen und zugehörige Anhänger die Anforderungen für das Abbremsen, Anhalten und Feststellen erfüllen, damit bei jeder vorgesehenen Betriebsart, Belastung, Fahrgeschwindigkeit, Bodenbeschaffenheit und Geländeneigung die erforderliche Sicherheit gewährleistet ist.

Eine selbstfahrende Maschine muss vom Fahrer mittels einer entsprechenden Haupteinrichtung abgebremst und angehalten werden können. Außerdem muss das Abbremsen und Anhalten über eine Noteinrichtung mit einem völlig unabhängigen und leicht zugänglichen Stellteil möglich sein, wenn dies erforderlich ist, um bei einem Versagen der Haupteinrichtung oder bei einem Ausfall der zur Betätigung der Haupteinrichtung benötigten Energie die Sicherheit zu gewährleisten.

Sofern es die Sicherheit erfordert, muss die Maschine mit Hilfe einer Feststelleinrichtung arretierbar sein. Als Feststelleinrichtung kann eine der im Absatz 2 bezeichneten Einrichtungen dienen, sofern sie rein mechanisch wirkt.

Eine ferngesteuerte Maschine muss mit Einrichtungen ausgestattet sein, die unter folgenden Umständen den Anhaltevorgang automatisch und unverzüglich einleiten und einem potenziell gefährlichen Betrieb vorbeugen:

- wenn der Fahrer die Kontrolle über sie verloren hat,
- wenn sie ein Haltesignal empfängt,
- wenn ein Fehler an einem sicherheitsrelevanten Teil des Systems festgestellt wird,
- wenn innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne kein Überwachungssignal registriert wurde.

Nummer 1.2.4 findet hier keine Anwendung.

3.3.4. *Verfahren mitgängergeführter Maschinen*

Eine mitgängergeführte selbstfahrende Maschine darf eine Verfahrbewegung nur bei ununterbrochener Betätigung des entsprechenden Stellteils durch den Fahrer ausführen können. Insbesondere darf eine Verfahrbewegung nicht möglich sein, während der Motor in Gang gesetzt wird.

Die Stellteile von mitgängergeführten Maschinen müssen so ausgelegt sein, dass die Risiken durch eine unbeabsichtigte Bewegung der Maschine für den Fahrer so gering wie möglich sind; dies gilt insbesondere für die Gefahr,

- eingequetscht oder überfahren zu werden,
- durch umlaufende Werkzeuge verletzt zu werden.

Die Verfahrsgeschwindigkeit der Maschine darf nicht größer sein als die Schrittgeschwindigkeit des Fahrers.

Bei Maschinen, an denen ein umlaufendes Werkzeug angebracht werden kann, muss sichergestellt sein, dass bei eingelegtem Rückwärtsgang das Werkzeug nicht angetrieben werden kann, es sei denn, die Fahrbewegung der Maschine wird durch die Bewegung des Werkzeugs bewirkt. Im letzteren Fall muss die Geschwindigkeit im Rückwärtsgang so gering sein, dass der Fahrer nicht gefährdet wird.

3.3.5. *Störung des Steuerkreises*

Bei Ausfall einer eventuell vorhandenen Lenkhilfe muss sich die Maschine während des Anhaltens weiterlenken lassen.

3.4. SCHUTZMASSNAHMEN GEGEN MECHANISCHE GEFÄHRDUNGEN

3.4.1. *Unkontrollierte Bewegungen*

Die Maschine muss so konstruiert, gebaut und gegebenenfalls auf ihrem beweglichen Gestell montiert sein, dass unkontrollierte Verlagerungen ihres Schwerpunkts beim Verfahren ihre Standsicherheit nicht beeinträchtigen und zu keiner übermäßigen Beanspruchung ihrer Struktur führen.

3.4.2. *Bewegliche Übertragungselemente*

Abweichend von Nummer 1.3.8.1 brauchen bei Motoren die beweglichen Schutzeinrichtungen, die den Zugang zu den beweglichen Teilen im Motorraum verhindern, nicht verriegelbar zu sein, wenn sie sich nur mit einem Werkzeug oder Schlüssel oder durch Betätigen eines Stellteils am Fahrerplatz öffnen lassen, sofern sich dieser in einer völlig geschlossenen, gegen unbefugten Zugang verschließbaren Kabine befindet.

3.4.3. *Überrollen und Umkippen*

Besteht bei einer selbstfahrenden Maschine mit aufsitzendem Fahrer und mitfahrendem anderem Bedienungspersonal oder anderen mitfahrenden Personen ein Überroll- oder Kipprisiko, so muss die Maschine mit einem entsprechenden Schutzaufbau versehen sein, es sei denn, dies erhöht das Risiko.

Dieser Aufbau muss so beschaffen sein, dass aufsitzende bzw. mitfahrende Personen bei Überrollen oder Umkippen durch einen angemessenen Verformungsgrenzbereich gesichert sind.

Um festzustellen, ob der Aufbau die in Absatz 2 genannte Anforderung erfüllt, muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter für jeden Aufbautyp die entsprechenden Prüfungen durchführen oder durchführen lassen.

3.4.4. *Herabfallende Gegenstände*

Besteht bei einer selbstfahrenden Maschine mit aufsitzendem Fahrer und mitfahrendem anderem Bedienungspersonal oder anderen mitfahrenden Personen ein Risiko durch herabfallende Gegenstände oder herabfallendes Material, so muss die Maschine entsprechend konstruiert und, sofern es ihre Abmessungen gestatten, mit einem entsprechenden Schutzaufbau versehen sein.

Dieser Aufbau muss so beschaffen sein, dass aufsitzende bzw. mitfahrende Personen beim Herabfallen von Gegenständen oder Material durch einen angemessenen Verformungsgrenzbereich gesichert sind.

Um festzustellen, ob der Aufbau die in Absatz 2 genannte Anforderung erfüllt, muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter für jeden Aufbautyp die entsprechenden Prüfungen durchführen oder durchführen lassen.

3.4.5. *Zugänge*

Halte- und Aufstiegsmöglichkeiten müssen so konstruiert, ausgeführt und angeordnet sein, dass das Bedienungspersonal sie instinktiv benutzt und sich zum leichteren Aufstieg nicht der Stellteile bedient.

3.4.6. **Anhängevorrichtungen**

Maschinen, die zum Ziehen eingesetzt oder gezogen werden sollen, müssen mit Anhängevorrichtungen oder Kupplungen ausgerüstet sein, die so konstruiert, ausgeführt und angeordnet sind, dass ein leichtes und sicheres An- und Abkuppeln sichergestellt ist und ein ungewolltes Abkuppeln während des Einsatzes verhindert wird.

Soweit die Deichsellast es erfordert, müssen diese Maschinen mit einer Stützvorrichtung ausgerüstet sein, deren Auflagefläche der Stützlast und dem Boden angepasst sein muss.

3.4.7. **Kraftübertragung zwischen einer selbstfahrenden Maschine (oder einer Zugmaschine) und einer angetriebenen Maschine**

Abnehmbare Gelenkwellen zwischen einer selbstfahrenden Maschine (oder einer Zugmaschine) und dem ersten festen Lager einer angetriebenen Maschine müssen so konstruiert und ausgeführt sein, dass während des Betriebs alle beweglichen Teile über ihre gesamte Länge geschützt sind.

Die Abtriebswelle der selbstfahrenden Maschine (oder Zapfwelle der Zugmaschine), an die die abnehmbare Gelenkwelle angekuppelt ist, muss entweder durch einen an der selbstfahrenden Maschine (oder der Zugmaschine) befestigten und mit ihr verbundenen Schutzschild oder eine andere Vorrichtung mit gleicher Schutzwirkung geschützt sein.

Dieser Schutzschild muss für den Zugang zu der abnehmbaren Gelenkwelle geöffnet werden können. Nach der Anbringung des Schutzschields muss genügend Platz bleiben, damit die Antriebswelle bei Fahrbewegungen der Maschine (oder der Zugmaschine) den Schutzschild nicht beschädigen kann.

Die angetriebene Welle der angetriebenen Maschine muss von einem an der Maschine befestigten Schutzgehäuse umschlossen sein.

Ein Drehmomentbegrenzer oder ein Freilauf für die abnehmbare Gelenkwelle ist nur auf der Seite zulässig, auf der sie mit der angetriebenen Maschine gekuppelt ist. In diesem Fall ist die Einbaulage auf der abnehmbaren Gelenkwelle anzugeben.

Eine angetriebene Maschine, für deren Betrieb eine abnehmbare Gelenkwelle erforderlich ist, die sie mit einer selbstfahrenden Maschine (oder einer Zugmaschine) verbindet, muss mit einer Halterung für die abnehmbare Gelenkwelle versehen sein, die verhindert, dass die abnehmbare Gelenkwelle und ihre Schutzeinrichtung beim Abkuppeln der angetriebenen Maschine durch Berührung mit dem Boden oder einem Maschinenteil beschädigt werden.

Die außen liegenden Teile der Schutzeinrichtung müssen so konstruiert, ausgeführt und angeordnet sein, dass sie sich nicht mit der abnehmbaren Gelenkwelle mitdrehen können. Bei einfachen Kreuzgelenken muss die Schutzeinrichtung die Welle bis zu den Enden der inneren Gelenkgabeln abdecken, bei Weitwinkelgelenken mindestens bis zur Mitte des äußeren Gelenks oder der äußeren Gelenke.

Befinden sich in der Nähe der abnehmbaren Gelenkwelle Zugänge zu den Arbeitsplätzen, so müssen sie so konstruiert und ausgeführt sein, dass die Wellenschutzeinrichtungen nicht als Trittstufen benutzt werden können, es sei denn, sie sind für diesen Zweck konstruiert und gebaut.

3.5. **SCHUTZMASSNAHMEN GEGEN SONSTIGE GEFÄHRDUNGEN**

3.5.1. **Batterien**

Das Batteriefach muss so konstruiert und ausgeführt sein, dass ein Verspritzen von Elektrolyt auf das Bedienungspersonal — selbst bei Überrollen oder Umkippen — verhindert und eine Ansammlung von Dämpfen an den Bedienungsplätzen vermieden wird.

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass die Batterie mit Hilfe einer dafür vorgesehenen und leicht zugänglichen Vorrichtung abgeklemmt werden kann.

3.5.2. **Brand**

Je nachdem, mit welchen Gefährdungen der Hersteller rechnet, muss die Maschine, soweit es ihre Abmessungen zulassen,

- die Anbringung leicht zugänglicher Feuerlöscher ermöglichen oder
- mit einem integrierten Feuerlöschsystem ausgerüstet sein.

3.5.3. **Emission von gefährlichen Stoffen**

Nummer 1.5.13 Absätze 2 und 3 gilt nicht, wenn die Hauptfunktion der Maschine das Versprühen von Stoffen ist. Das Bedienungspersonal muss jedoch vor dem Risiko einer Exposition gegenüber Emissionen dieser Stoffe geschützt sein.

3.6. INFORMATIONEN UND ANGABEN

3.6.1. *Zeichen, Signaleinrichtungen und Warnhinweise*

Wenn es für die Sicherheit und zum Schutz der Gesundheit von Personen erforderlich ist, muss jede Maschine mit Zeichen und/oder Hinweisschildern für ihre Benutzung, Einstellung und Wartung versehen sein. Diese sind so zu wählen, zu gestalten und auszuführen, dass sie deutlich zu erkennen und dauerhaft sind.

Unbeschadet der Straßenverkehrsvorschriften müssen Maschinen mit aufsitzendem Fahrer mit folgenden Einrichtungen ausgestattet sein:

- mit einer akustischen Warneinrichtung, mit der Personen gewarnt werden können,
- mit einer auf die vorgesehenen Einsatzbedingungen abgestimmten Lichtsignaleinrichtung; diese Anforderung gilt nicht für Maschinen, die ausschließlich für den Einsatz unter Tage bestimmt sind und nicht mit elektrischer Energie arbeiten,
- erforderlichenfalls mit einem für den Betrieb der Signaleinrichtungen geeigneten Anschluss zwischen Anhänger und Maschine.

Ferngesteuerte Maschinen, bei denen unter normalen Einsatzbedingungen ein Stoß- oder Quetschrisiko besteht, müssen mit geeigneten Einrichtungen ausgerüstet sein, die ihre Bewegungen anzeigen, oder mit Einrichtungen zum Schutz von Personen vor derartigen Risiken. Das gilt auch für Maschinen, die bei ihrem Einsatz wiederholt auf ein und derselben Linie vor- und zurückbewegt werden und bei denen der Fahrer den Bereich hinter der Maschine nicht direkt einsehen kann.

Ein ungewolltes Abschalten der Warn- und Signaleinrichtungen muss von der Konstruktion her ausgeschlossen sein. Wenn es für die Sicherheit erforderlich ist, sind diese Einrichtungen mit Funktionskontrollvorrichtungen zu versehen, die dem Bedienungspersonal etwaige Störungen anzeigen.

Maschinen, bei denen die eigenen Bewegungen und die ihrer Werkzeuge eine besondere Gefährdung darstellen, müssen eine Aufschrift tragen, die es untersagt, sich der Maschine während des Betriebs zu nähern. Sie muss aus einem ausreichenden Abstand lesbar sein, bei dem die Sicherheit der Personen gewährleistet ist, die sich in Maschinennähe aufhalten müssen.

3.6.2. *Kennzeichnung*

Auf jeder Maschine müssen folgende Angaben deutlich lesbar und dauerhaft angebracht sein:

- die Nennleistung ausgedrückt in Kilowatt (kW),
 - die Masse in Kilogramm (kg) beim gängigsten Betriebszustand
- sowie gegebenenfalls
- die größte zulässige Zugkraft an der Anhängervorrichtung in Newton (N),
 - die größte zulässige vertikale Stützlast auf der Anhängervorrichtung in Newton (N).

3.6.3. *Betriebsanleitung*

3.6.3.1. *Vibrationen*

Die Betriebsanleitung muss folgende Angaben zu den von der Maschine auf die oberen Gliedmaßen oder auf den gesamten Körper übertragenen Vibrationen enthalten:

- den Schwingungsgesamtwert, dem die oberen Körpergliedmaßen ausgesetzt sind, falls der Wert $2,5 \text{ m/s}^2$ übersteigt. Beträgt dieser Wert nicht mehr als $2,5 \text{ m/s}^2$, so ist dies anzugeben,
- den höchsten Effektivwert der gewichteten Beschleunigung, dem der gesamte Körper ausgesetzt ist, falls der Wert $0,5 \text{ m/s}^2$ übersteigt. Beträgt dieser Wert nicht mehr als $0,5 \text{ m/s}^2$, ist dies anzugeben,
- die Messunsicherheiten.

Diese Werte müssen entweder an der betreffenden Maschine tatsächlich gemessen oder durch Messung an einer technisch vergleichbaren, für die geplante Fertigung repräsentativen Maschine ermittelt worden sein.

Kommen keine harmonisierten Normen zur Anwendung, so ist zur Ermittlung der Vibrationsdaten nach der dafür am besten geeigneten Messmethode zu verfahren.

Die Betriebsbedingungen der Maschine während der Messung und die Messmethode sind zu beschreiben.

3.6.3.2. Mehrere Verwendungsmöglichkeiten

Gestattet eine Maschine je nach Ausrüstung verschiedene Verwendungen, so müssen ihre Betriebsanleitung und die Betriebsanleitungen der austauschbaren Ausrüstungen die Angaben enthalten, die für eine sichere Montage und Benutzung der Grundmaschine und der für sie vorgesehenen austauschbaren Ausrüstungen notwendig sind.

4. ZUSÄTZLICHE GRUNDLEGENDE SICHERHEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZANFORDERUNGEN ZUR AUSSCHALTUNG DER DURCH HEBEVORGÄNGE BEDINGTEN GEFÄHRDUNGEN

Maschinen, von denen durch Hebevorgänge bedingte Gefährdungen ausgehen, müssen alle einschlägigen in diesem Kapitel genannten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllen (siehe Allgemeine Grundsätze, Nummer 4).

4.1. ALLGEMEINES

4.1.1. Begriffsbestimmungen

- a) „Hebevorgang“: Vorgang der Beförderung von Einzellasten in Form von Gütern und/oder Personen unter Höhenverlagerung.
- b) „Geführte Last“: Last, die während ihrer gesamten Bewegung an starren Führungselementen oder an beweglichen Führungselementen, deren Lage im Raum durch Festpunkte bestimmt wird, geführt wird.
- c) „Betriebskoeffizient“: arithmetisches Verhältnis zwischen der vom Hersteller oder seinem Bevollmächtigten garantierten Last, die das Bauteil höchstens halten kann, und der auf dem Bauteil angegebenen maximalen Tragfähigkeit.
- d) „Prüfungskoeffizient“: arithmetisches Verhältnis zwischen der für die statische oder dynamische Prüfung der Maschine zum Heben von Lasten oder des Lastaufnahmemittels verwendeten Last und der auf der Maschine zum Heben von Lasten oder dem Lastaufnahmemittel angegebenen maximalen Tragfähigkeit.
- e) „Statische Prüfung“: Prüfung, bei der die Maschine zum Heben von Lasten oder das Lastaufnahmemittel zunächst überprüft und dann mit einer Kraft gleich dem Produkt aus der maximalen Tragfähigkeit und dem vorgesehenen statischen Prüfungskoeffizienten belastet wird und nach Entfernen der Last erneut überprüft wird, um sicherzustellen, dass keine Schäden aufgetreten sind.
- f) „Dynamische Prüfung“: Prüfung, bei der die Maschine zum Heben von Lasten in allen möglichen Betriebszuständen mit einer Last gleich dem Produkt aus der maximalen Tragfähigkeit und dem vorgesehenen dynamischen Prüfungskoeffizienten und unter Berücksichtigung ihres dynamischen Verhaltens betrieben wird, um ihr ordnungsgemäßes Funktionieren zu überprüfen.
- g) „Lastträger“: Teil der Maschine, auf oder in dem Personen und/oder Güter zur Aufwärts- oder Abwärtsbeförderung untergebracht sind.

4.1.2. Schutzmaßnahmen gegen mechanische Gefährdungen

4.1.2.1. Risiken durch mangelnde Standsicherheit

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass die in Nummer 1.3.1 vorgeschriebene Standsicherheit sowohl im Betrieb als auch außer Betrieb und in allen Phasen des Transports, der Montage und der Demontage sowie bei absehbarem Ausfall von Bauteilen und auch bei den gemäß der Betriebsanleitung durchgeführten Prüfungen gewahrt bleibt. Zu diesem Zweck muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter die entsprechenden Überprüfungsverfahren anwenden.

4.1.2.2. An Führungen oder auf Laufbahnen fahrende Maschinen

Die Maschine muss mit Einrichtungen ausgestattet sein, die auf Führungen und Laufbahnen so einwirken, dass ein Entgleisen verhindert wird.

Besteht trotz dieser Einrichtungen das Risiko eines Entgleisens oder des Versagens von Führungseinrichtungen oder Laufwerksteilen, so muss durch geeignete Vorkehrungen verhindert werden, dass Ausrüstungen, Bauteile oder die Last herabfallen oder dass die Maschine umkippt.

4.1.2.3. Festigkeit

Die Maschine, das Lastaufnahmemittel und ihre Bauteile müssen den Belastungen, denen sie im Betrieb und gegebenenfalls auch außer Betrieb ausgesetzt sind, unter den vorgesehenen Montage- und Betriebsbedingungen und in allen entsprechenden Betriebszuständen, gegebenenfalls unter bestimmten Witterungseinflüssen und menschlicher Krafteinwirkung, standhalten können. Diese Anforderung muss auch bei Transport, Montage und Demontage erfüllt sein.

Die Maschine und das Lastaufnahmemittel sind so zu konstruieren und zu bauen, dass bei bestimmungsgemäßer Verwendung ein Versagen infolge Ermüdung und Verschleiß verhindert ist.

Die in der Maschine verwendeten Werkstoffe sind unter Berücksichtigung der vorgesehenen Einsatzumgebung zu wählen, insbesondere im Hinblick auf Korrosion, Abrieb, Stoßbeanspruchung, Extremtemperaturen, Ermüdung, Kaltbrüchigkeit und Alterung.

Die Maschine und das Lastaufnahmemittel müssen so konstruiert und gebaut sein, dass sie den Überlastungen bei statischen Prüfungen ohne bleibende Verformung und ohne offenkundige Schäden standhalten. Der Festigkeitsberechnung sind die Koeffizienten für die statische Prüfung zugrunde zu legen; diese werden so gewählt, dass sie ein angemessenes Sicherheitsniveau gewährleisten. Diese haben in der Regel folgende Werte:

- a) durch menschliche Kraft angetriebene Maschinen und Lastaufnahmemittel: 1,5;
- b) andere Maschinen: 1,25.

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass sie den dynamischen Prüfungen mit der maximalen Tragfähigkeit, multipliziert mit dem Koeffizienten für die dynamische Prüfung, einwandfrei standhält. Der Koeffizient für die dynamische Prüfung wird so gewählt, dass er ein angemessenes Sicherheitsniveau gewährleistet; er hat in der Regel den Wert 1,1. Die Prüfungen werden in der Regel bei den vorgesehenen Nenngeschwindigkeiten durchgeführt. Lässt die Steuerung der Maschine mehrere Bewegungen gleichzeitig zu, so ist die Prüfung unter den ungünstigsten Bedingungen durchzuführen, und zwar indem in der Regel die Bewegungen miteinander kombiniert werden.

4.1.2.4. Rollen, Trommeln, Scheiben, Seile und Ketten

Der Durchmesser von Rollen, Trommeln und Scheiben muss auf die Abmessungen der Seile oder Ketten abgestimmt sein, für die sie vorgesehen sind.

Rollen und Trommeln müssen so konstruiert, gebaut und angebracht sein, dass die Seile oder Ketten, für die sie bestimmt sind, ohne seitliche Abweichungen vom vorgesehenen Verlauf aufgerollt werden können.

Seile, die unmittelbar zum Heben oder Tragen von Lasten verwendet werden, dürfen lediglich an ihren Enden verspleißt sein. An Einrichtungen, die für laufendes Einrichten entsprechend den jeweiligen Betriebserfordernissen konzipiert sind, sind Verspleißungen jedoch auch an anderen Stellen zulässig.

Der Betriebskoeffizient von Seilen und Seilenden insgesamt muss so gewählt werden, dass er ein angemessenes Sicherheitsniveau gewährleistet; er hat in der Regel den Wert 5.

Der Betriebskoeffizient von Hebketten muss so gewählt werden, dass er ein angemessenes Sicherheitsniveau gewährleistet; er hat in der Regel den Wert 4.

Um festzustellen, ob der erforderliche Betriebskoeffizient erreicht ist, muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter für jeden Ketten- und Seiltyp, der unmittelbar zum Heben von Lasten verwendet wird, und für jede Seilendverbindung die entsprechenden Prüfungen durchführen oder durchführen lassen.

4.1.2.5. Lastaufnahmemittel und ihre Bauteile

Lastaufnahmemittel und ihre Bauteile sind unter Berücksichtigung der Ermüdungs- und Alterungserscheinungen zu dimensionieren, die bei einer der vorgesehenen Lebensdauer entsprechenden Anzahl von Betriebszyklen und unter den für den vorgesehenen Einsatz festgelegten Betriebsbedingungen zu erwarten sind.

Ferner gilt Folgendes:

- a) Der Betriebskoeffizient von Drahtseilen und ihren Endverbindungen insgesamt muss so gewählt werden, dass er ein angemessenes Sicherheitsniveau gewährleistet; er hat in der Regel den Wert 5. Die Seile dürfen außer an ihren Enden keine Spleiße oder Schlingen aufweisen.
- b) Werden Ketten aus verschweißten Gliedern verwendet, so müssen die Kettenglieder kurz sein. Der Betriebskoeffizient von Ketten muss so gewählt werden, dass er ein angemessenes Sicherheitsniveau gewährleistet; er hat in der Regel den Wert 4.

- c) Der Betriebskoeffizient von Textilfaserseilen oder -gurten ist abhängig von Werkstoff, Fertigungsverfahren, Abmessungen und Verwendungszweck. Er muss so gewählt werden, dass er ein angemessenes Sicherheitsniveau gewährleistet; er hat in der Regel den Wert 7, sofern die verwendeten Werkstoffe von nachweislich sehr guter Qualität sind und das Fertigungsverfahren den vorgesehenen Einsatzbedingungen entspricht. Andernfalls ist der Betriebskoeffizient in der Regel höher zu wählen, wenn ein vergleichbares Sicherheitsniveau gewährleistet sein soll. Textilfaserseile oder -gurte dürfen außer an den Enden bzw. bei Endlosschlingen an den Ringschlussstellen keine Knoten, Spleiße oder Verbindungsstellen aufweisen.
- d) Der Betriebskoeffizient sämtlicher Metallteile eines Anschlagmittels oder der mit einem Anschlagmittel verwendeten Metallteile wird so gewählt, dass er ein angemessenes Sicherheitsniveau gewährleistet; er hat in der Regel den Wert 4.
- e) Die maximale Tragfähigkeit eines mehrsträngigen Anschlagmittels wird aus der maximalen Tragfähigkeit des schwächsten Strangs, der Anzahl der Stränge und einem von der Anschlagart abhängigen Minderungsfaktor errechnet.
- f) Um festzustellen, ob ein ausreichender Betriebskoeffizient erreicht ist, muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter für jeden Typ der unter den Buchstaben a, b, c und d genannten Bauteiltypen die entsprechenden Prüfungen durchführen oder durchführen lassen.

4.1.2.6. Bewegungsbegrenzung

Bewegungsbegrenzungseinrichtungen müssen so wirken, dass sie die Maschine, an der sie angebracht sind, in sicherer Lage halten.

- a) Die Maschine muss so konstruiert und gebaut oder mit solchen Einrichtungen ausgestattet sein, dass die Bewegungen ihrer Bauteile innerhalb der vorgesehenen Grenzen gehalten werden. Gegebenenfalls muss es durch ein Warnsignal angekündigt werden, wenn diese Einrichtungen zur Wirkung kommen.
- b) Wenn mehrere fest installierte oder schienengeführte Maschinen gleichzeitig Bewegungen ausführen können und das Risiko besteht, dass es dabei zu Zusammenstößen kommt, müssen sie so konstruiert und gebaut sein, dass sie mit Einrichtungen zur Ausschaltung dieses Risikos ausgerüstet werden können.
- c) Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass sich die Lasten nicht in gefährlicher Weise verschieben oder unkontrolliert herabfallen können, und zwar selbst dann, wenn die Energieversorgung ganz oder teilweise ausfällt oder der Bediener ein Stellteil nicht mehr betätigt.
- d) Außer bei Maschinen, für deren Einsatz dies erforderlich ist, darf es unter normalen Betriebsbedingungen nicht möglich sein, eine Last allein unter Benutzung einer Reibungsbremse abzusenken.
- e) Halteeinrichtungen müssen so konstruiert und gebaut sein, dass ein unkontrolliertes Herabfallen der Lasten ausgeschlossen ist.

4.1.2.7. Bewegungen von Lasten während der Benutzung

Der Bedienungsstand von Maschinen muss so angeordnet sein, dass der Bewegungsverlauf der in Bewegung befindlichen Teile optimal überwacht werden kann, um mögliche Zusammenstöße mit Personen, Vorrichtungen oder anderen Maschinen zu verhindern, die gleichzeitig Bewegungen vollziehen und eine Gefährdung darstellen können.

Maschinen mit geführter Last müssen so konstruiert und gebaut sein, dass die Verletzung von Personen durch Bewegungen der Last, des Lastträgers oder etwaiger Gegengewichte verhindert wird.

4.1.2.8. Maschinen, die feste Ladestellen anfahren

4.1.2.8.1. Bewegungen des Lastträgers

Die Bewegung des Lastträgers von Maschinen, die feste Ladestellen anfahren, muss hin zu den Ladestellen und an den Ladestellen starr geführt sein. Auch Scherensysteme gelten als starre Führung.

4.1.2.8.2. Zugang zum Lastträger

Können Personen den Lastträger betreten, so muss die Maschine so konstruiert und gebaut sein, dass sich der Lastträger während des Zugangs, insbesondere beim Be- und Entladen, nicht bewegt.

Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass ein Höhenunterschied zwischen dem Lastträger und der angefahrenen Ladestelle kein Sturzrisiko verursacht.

4.1.2.8.3. *Risiken durch Kontakt mit dem bewegten Lastträger*

Wenn es zur Erfüllung der in Nummer 4.1.2.7 Absatz 2 ausgeführten Anforderung erforderlich ist, muss der durchfahrene Bereich während des Normalbetriebs unzugänglich sein.

Besteht bei Inspektion oder Wartung ein Risiko, dass Personen, die sich unter oder über dem Lastträger befinden, zwischen dem Lastträger und fest angebrachten Teilen eingequetscht werden, so muss für ausreichend Freiraum gesorgt werden, indem entweder Schutznischen vorgesehen werden oder indem mechanische Vorrichtungen die Bewegung des Lastträgers blockieren.

4.1.2.8.4. *Risiken durch vom Lastträger herabstürzende Lasten*

Besteht ein Risiko, dass Lasten vom Lastträger herabstürzen, so muss die Maschine so konstruiert und gebaut sein, dass diesem Risiko vorgebeugt wird.

4.1.2.8.5. *Ladestellen*

Dem Risiko, dass Personen an den Ladestellen mit dem bewegten Lastträger oder anderen in Bewegung befindlichen Teilen in Kontakt kommen, muss vorgebeugt werden.

Besteht ein Risiko, dass Personen in den durchfahrenen Bereich stürzen können, wenn der Lastträger sich nicht an der Ladestelle befindet, so müssen trennende Schutzeinrichtungen angebracht werden, um diesem Risiko vorzubeugen. Solche Schutzeinrichtungen dürfen sich nicht in Richtung des Bewegungsbereichs öffnen. Sie müssen mit einer Verriegelungseinrichtung verbunden sein, die durch die Position des Lastträgers gesteuert wird und Folgendes verhindert:

- gefährliche Bewegungen des Lastträgers, bis die trennenden Schutzeinrichtungen geschlossen und verriegelt sind,
- ein mit Gefahren verbundenes Öffnen einer trennenden Schutzeinrichtung, bis der Lastträger an der betreffenden Ladestelle zum Stillstand gekommen ist.

4.1.3. *Zwecktauglichkeit*

Wenn Maschinen zum Heben von Lasten oder Lastaufnahmemittel in Verkehr gebracht oder erstmals in Betrieb genommen werden, muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter durch das Ergreifen geeigneter Maßnahmen oder durch bereits getroffene Maßnahmen dafür sorgen, dass die betriebsbereiten Maschinen oder Lastaufnahmemittel ihre vorgesehenen Funktionen sicher erfüllen können, und zwar unabhängig davon, ob sie hand- oder kraftbetrieben sind.

Die in Nummer 4.1.2.3 genannten statischen und dynamischen Prüfungen müssen an allen Maschinen zum Heben von Lasten durchgeführt werden, die für die Inbetriebnahme bereit sind.

Kann die Montage der Maschine nicht beim Hersteller oder seinem Bevollmächtigten erfolgen, so müssen am Ort der Verwendung geeignete Maßnahmen getroffen werden. Ansonsten können die Maßnahmen entweder beim Hersteller oder am Ort der Verwendung getroffen werden.

4.2. ANFORDERUNGEN AN MASCHINEN, DIE NICHT DURCH MENSCHLICHE KRAFT ANGETRIEBEN WERDEN

4.2.1. *Bewegungssteuerung*

Zur Steuerung der Bewegungen der Maschine oder ihrer Ausrüstungen müssen Stellteile mit selbsttätiger Rückstellung verwendet werden. Für Teilbewegungen oder vollständige Bewegungen, bei denen keine Gefahr eines An- oder Aufprallens der Last oder der Maschine besteht, können statt der Stellteile jedoch Steuereinrichtungen verwendet werden, die ein automatisches Stillsetzen an verschiedenen vorwählbaren Positionen zulassen, ohne dass das Bedienungspersonal das entsprechende Stellteil ununterbrochen betätigen muss.

4.2.2. *Belastungsbegrenzung*

Maschinen mit einer maximalen Tragfähigkeit größer oder gleich 1 000 kg oder einem Kippmoment größer oder gleich 40 000 Nm müssen mit Einrichtungen ausgestattet sein, die den Fahrer warnen und eine Gefahr bringende Bewegung verhindern, und zwar bei

- Überlastung, entweder durch Überschreiten der maximalen Tragfähigkeiten oder durch Überschreiten der maximalen Lastmomente, oder
- Überschreiten der Kippmomente.

4.2.3. *Seilgeführte Einrichtungen*

Tragseile, Zugseile, sowie kombinierte Trag- und Zugseile müssen durch Gegengewichte oder eine die ständige Regelung der Seilspannung ermöglichende Vorrichtung gespannt werden.

4.3. INFORMATIONEN UND KENNZEICHNUNG

4.3.1. Ketten, Seile und Gurte

Jeder Strang einer Kette, eines Seils oder eines Gurtes, der nicht Teil einer Baugruppe ist, muss eine Kennzeichnung oder, falls dies nicht möglich ist, ein Schild oder einen nicht entfernbaren Ring mit dem Namen und der Anschrift des Herstellers oder seines Bevollmächtigten und der Kennung der entsprechenden Erklärung tragen.

Diese Erklärung muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- a) den Namen und die Anschrift des Herstellers und gegebenenfalls seines Bevollmächtigten;
- b) die Beschreibung der Kette, des Seils oder des Gurtes mit folgenden Angaben:
 - Nennabmessungen,
 - Aufbau,
 - Werkstoff und
 - eventuelle metallurgische Sonderbehandlung;
- c) Angabe der verwendeten Prüfmethode;
- d) maximale Tragfähigkeit der Kette, des Seils oder des Gurtes. Es kann auch eine Spanne von Werten in Abhängigkeit vom vorgesehenen Einsatz angegeben werden.

4.3.2. Lastaufnahmemittel

Auf Lastaufnahmemitteln muss Folgendes angegeben sein:

- die Angabe des Werkstoffs, sofern dies für eine sichere Verwendung erforderlich ist,
- die maximale Tragfähigkeit.

Lassen sich die erforderlichen Angaben nicht auf dem Lastaufnahmemittel selbst anbringen, so sind sie auf einem Schild oder auf einem anderen gleichwertigen, fest mit dem Lastaufnahmemittel verbundenen Gegenstand anzubringen.

Die Angaben müssen gut leserlich sein und an einer Stelle angebracht sein, an der sie nicht durch Verschleiß unkenntlich werden können und auch nicht die Festigkeit des Lastaufnahmemittels beeinträchtigen können.

4.3.3. Maschinen zum Heben von Lasten

Auf der Maschine muss durch eine Kennzeichnung an gut sichtbarer Stelle die maximale Tragfähigkeit angegeben werden. Diese Angabe muss gut leserlich und dauerhaft in nicht verschlüsselter Form angebracht sein.

Wenn die maximale Tragfähigkeit vom jeweiligen Betriebszustand der Maschine abhängig ist, muss jeder Bedienungsplatz mit einem Tragfähigkeitsschild versehen sein, auf dem die zulässigen Tragfähigkeiten für die einzelnen Betriebszustände — vorzugsweise in Form von Diagrammen oder von Tragfähigkeitstabellen — angegeben sind.

Maschinen, die nur zum Heben von Lasten bestimmt sind und mit einem Lastträger ausgerüstet sind, der auch von Personen betreten werden kann, müssen einen deutlichen und dauerhaft angebrachten Hinweis auf das Verbot der Personenbeförderung tragen. Dieser Hinweis muss an allen Stellen sichtbar sein, an denen ein Zugang möglich ist.

4.4. BETRIEBSANLEITUNG

4.4.1. Lastaufnahmemittel

Jedem Lastaufnahmemittel und jeder nur als Ganzes erhältlichen Gesamtheit von Lastaufnahmemitteln muss eine Betriebsanleitung beiliegen, die mindestens folgende Angaben enthält:

- a) bestimmungsgemäße Verwendung;
- b) Einsatzbeschränkungen (insbesondere bei Lastaufnahmemitteln wie Magnet- und Sauggreifern, die die Anforderungen der Nummer 4.1.2.6 Buchstabe e nicht vollständig erfüllen);
- c) Montage-, Verwendungs- und Wartungshinweise;
- d) für die statische Prüfung verwendeter Koeffizient.

4.4.2. **Maschinen zum Heben von Lasten**

Jeder Maschine zum Heben von Lasten muss eine Betriebsanleitung beiliegen, die folgende Angaben enthält:

- a) technische Kenndaten der Maschine, insbesondere Folgendes:
 - maximale Tragfähigkeit und gegebenenfalls eine Wiedergabe des in Nummer 4.3.3 Absatz 2 genannten Tragfähigkeitsschildes oder der dort genannten Tragfähigkeitstabelle,
 - Belastung an den Auflagern oder Verankerungen und gegebenenfalls Kenndaten der Laufbahnen,
 - gegebenenfalls Angaben über Ballastmassen und die Mittel zu ihrer Anbringung;
- b) Inhalt des Wartungsheftes, falls ein solches nicht mitgeliefert wird;
- c) Benutzungshinweise, insbesondere Ratschläge, wie das Bedienungspersonal mangelnde Direktsicht auf die Last ausgleichen kann;
- d) gegebenenfalls einen Prüfbericht, in dem die vom Hersteller oder seinem Bevollmächtigten oder für diese durchgeführten statischen und dynamischen Prüfungen im Einzelnen beschrieben sind;
- e) notwendige Angaben für die Durchführung der in Nummer 4.1.3 genannten Maßnahmen vor der erstmaligen Inbetriebnahme von Maschinen, die nicht beim Hersteller einsatzfertig montiert werden.

5. **ZUSÄTZLICHE GRUNDLEGENDE SICHERHEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZANFORDERUNGEN AN MASCHINEN, DIE ZUM EINSATZ UNTER TAGE BESTIMMT SIND**

Maschinen, die zum Einsatz unter Tage bestimmt sind, müssen alle in diesem Kapitel genannten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllen (siehe Allgemeine Grundsätze, Nummer 4).

5.1. **RISIKEN DURCH MANGELNDE STANDSICHERHEIT**

Ein Schreitausbau muss so konstruiert und gebaut sein, dass beim Schreitvorgang eine entsprechende Ausrichtung möglich ist und ein Umkippen vor und während der Druckbeaufschlagung sowie nach der Druckminderung unmöglich ist. Der Ausbau muss Verankerungen für die Kopfplatten der hydraulischen Einzelstempel besitzen.

5.2. **BEWEGUNGSFREIHEIT**

Ein Schreitausbau muss so konstruiert sein, dass sich Personen ungehindert bewegen können.

5.3. **STELLTEILE**

Stellteile zum Beschleunigen und Bremsen schienengeführter Maschinen müssen mit der Hand betätigt werden. Zustimmungsschalter können dagegen mit dem Fuß betätigt werden.

Die Stellteile eines Schreitausbaus müssen so konstruiert und angeordnet sein, dass das Bedienungspersonal beim Schreitvorgang durch ein feststehendes Ausbauelement geschützt ist. Die Stellteile müssen gegen unbeabsichtigtes Betätigen gesichert sein.

5.4. **ANHALTEN DER FAHRBEWEGUNG**

Für den Einsatz unter Tage bestimmte selbstfahrende schienengeführte Maschinen müssen mit einem Zustimmungsschalter ausgestattet sein, der so auf den Steuerkreis für die Fahrbewegung der Maschine einwirkt, dass die Fahrbewegung angehalten wird, wenn der Fahrer die Fahrbewegung nicht mehr steuern kann.

5.5. **BRAND**

Die Anforderung der Nummer 3.5.2 zweiter Gedankenstrich gilt zwingend für Maschinen mit leicht entflammaren Teilen.

Das Bremssystem der für den Einsatz unter Tage bestimmten Maschinen muss so konstruiert und gebaut sein, dass es keine Funken erzeugen oder Brände verursachen kann.

Für Maschinen mit Verbrennungsmotoren, die für den Einsatz unter Tage bestimmt sind, sind nur Motoren zulässig, die mit einem Kraftstoff mit niedrigem Dampfdruck arbeiten und bei denen sich keine elektrischen Funken bilden können.