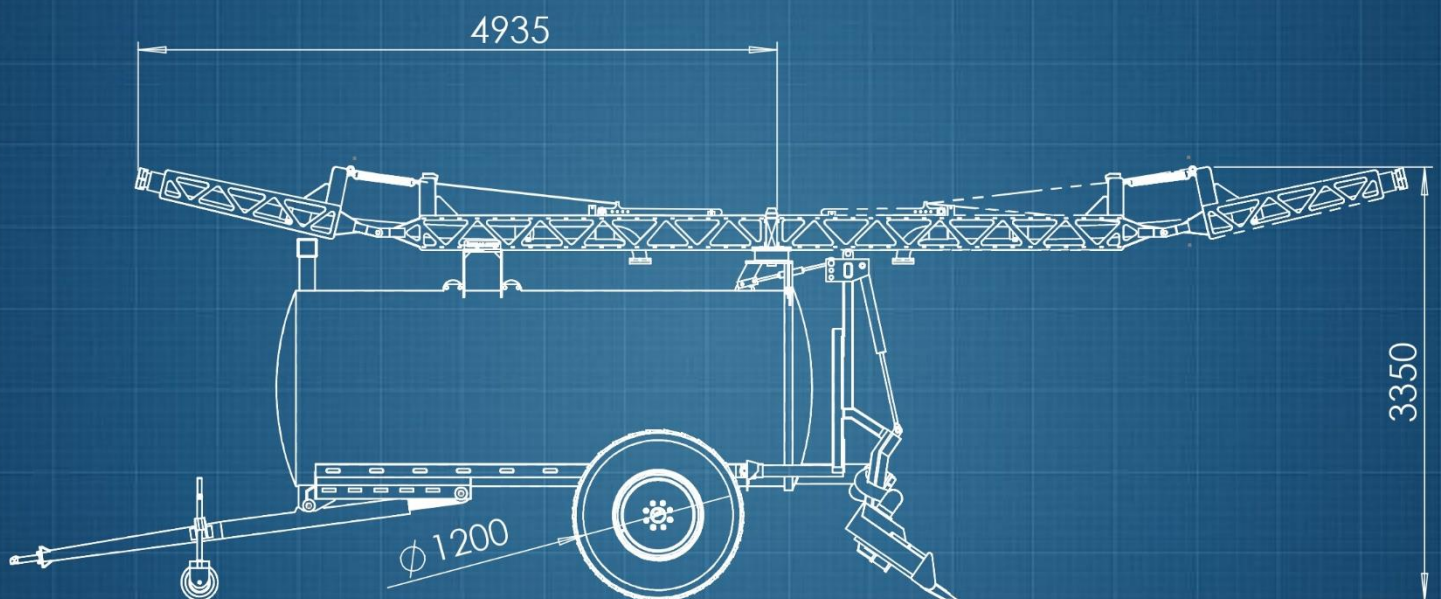
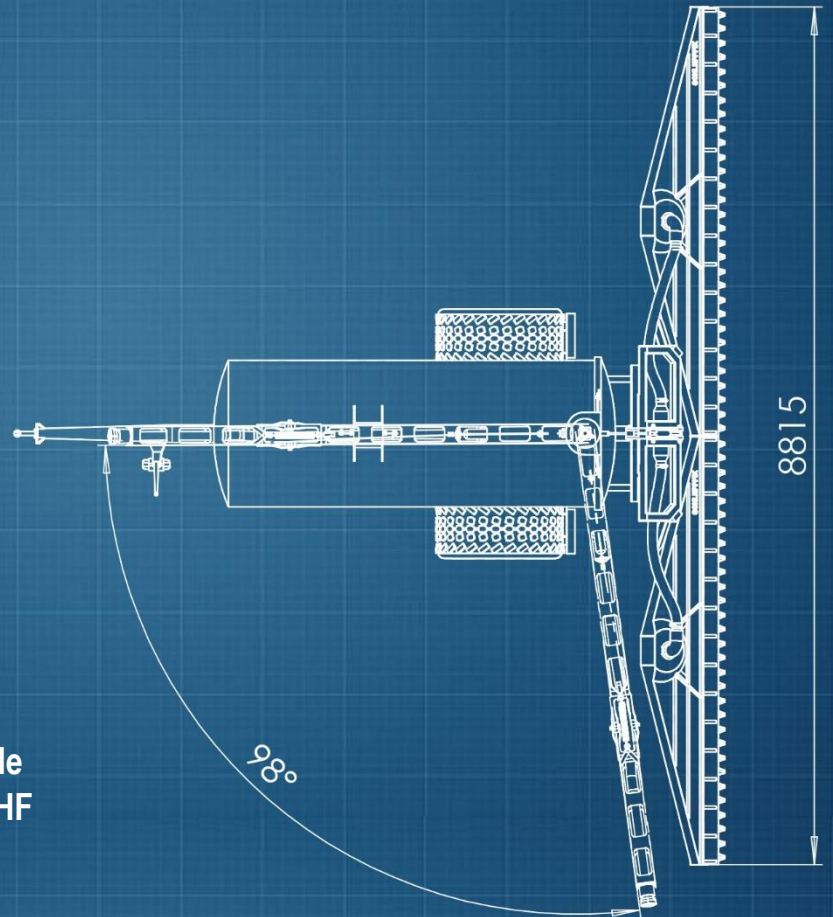


Ausleger für eine Gülleverschlauchung

Joël Dobler
Marius Bachmann

TEKO Schweizerische Fachschule
Dipl. Maschinenbautechniker/in HF
2022 - 2025
Öffentlich / Nicht vertraulich



1 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit bestätigen wir, dass wir die vorliegende Arbeit eigenständig und ausschliesslich unter Verwendung der im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst haben.

Die wörtlich oder inhaltlich der im Literaturverzeichnis aufgeführten Quellen und Hilfsmitteln entnommenen Stellen sind in der Arbeit als Zitat bzw. durch kursive Schreibweise und Schriftgrösse 10 kenntlich gemacht.

Diese Projektarbeit wurde bislang nicht veröffentlicht und ist keiner anderen Institution vorgelegt worden.

Winterthur, 11.10.2025

Mettmenstetten, 11.10.2025

Unterschrift



Joël Dobler

Unterschrift



Marius Bachmann

2 Management Summary

In dieser Arbeit geht es um die Entwicklung eines neuen Auslegers für die Gülleverschlauchung. Seit Beginn stand folgende Frage im Raum: Wie lässt sich ein System bauen, das nicht nur auf dem Papier funktioniert, sondern sich auch im landwirtschaftlichen Alltag bewährt? Gerade in der Landwirtschaft muss Technik zuverlässig sein. Unebenes Gelände, wechselnde Lasten und lange Einsatzzeiten sind der Normalfall – und genau hier soll der neue Ausleger zeigen, was er kann.

Der erste Schritt war die Analyse der Anforderungen. Schnell wurde klar, die Konstruktion muss robust, einfach zu handhaben und langlebig sein. Gleichzeitig sollte sie sich mit vorhandenen Bauteilen kombinieren lassen, um die Kosten im Rahmen zu halten und eine Nachhaltige Umsetzung zu ermöglichen. Aus verschiedenen Konzepten kristallisierte sich schliesslich eine Lösung heraus, die im CAD detailliert ausgearbeitet wurde.

Bereits während des Entwicklungsprozesses wurde viel Wert auf die Berechnungen und Nachweise gelegt. Besonders die Schraubenverbindungen standen dabei im Fokus, da sie entscheidend für die Betriebssicherheit sind. Mit M12-Schrauben wurde eine Verbindung gewählt, die sehr grosse Reserven aufweist. Die Berechnungen zeigen einen Sicherheitsfaktor von rund 3,3, das heisst, die Schrauben sind nur zu etwa einem Drittel ausgelastet. Auch die Lagerstellen wurden überprüft und bieten deutlich mehr Tragfähigkeit als tatsächlich benötigt wird. Zusätzliche FEM-Analysen bestätigten, dass die Spannungen im Material weit unter den kritischen Werten bleiben. Dies gibt die Gewissheit, dass die Konstruktion nicht nur „gerade so“ hält, sondern langfristig zuverlässig arbeitet.

Einige Bauteile wirken auf den ersten Blick etwas überdimensioniert. Das ist jedoch kein Nachteil, sondern wurde bewusst so gewählt. Einerseits konnten vorhandene Teile weiterverwendet werden, andererseits ist eine stabile Bauweise in der Praxis von Vorteil. Schläge, Vibrationen und unvorhergesehene Belastungen lassen sich schliesslich nie exakt berechnen. Durch die „Reserve“ bleibt das System auch unter schwierigen Bedingungen zuverlässig.

Das finale CAD-Modell zeigte: An der Grundidee musste nichts mehr geändert werden. Alle Baugruppen greifen sauber ineinander und es gibt keine Kollisionen. Auch spätere Wartungsarbeiten wie das Nachziehen von Muttern ist berücksichtigt. So entsteht ein System, das nicht nur am Bildschirm, sondern auch auf dem Acker gut funktioniert.

Die Fertigung und Montage verliefen ohne grosse Probleme. Viele Arbeitsschritte wie Lasern, Schweißen und Verzinken zeigen den Weg vom Rohmaterial bis zum fertigen Bauteil. Nach der Montage folgten Testfahrten, bei denen der Ausleger unter realen Bedingungen erprobt wurde. Die Ergebnisse waren eindeutig: Das System arbeitet zuverlässig und die Handhabung ist einfach. Damit ist bewiesen, dass Theorie und Praxis zusammenpassen.

Das Ergebnis ist ein Ausleger, der robust, funktional und praxistauglich ist. Durch die gewählte Bauweise ergeben sich zusätzliche Sicherheitsreserven, die im Alltag von grossem Nutzen sind. Für die Landwirtschaft bedeutet dies ein zuverlässiges Werkzeug, welches die Arbeit erleichtert und den Betrieb sicherer macht.

Die Dokumentation schafft darüber hinaus eine Basis für weitere Optimierungen. Doch schon jetzt zeigt der Ausleger, dass eine durchdachte Konstruktion, welche durch Berechnungen und Praxistests abgesichert wurde, zu einem überzeugenden Ergebnis führt.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Ehrenwörtliche Erklärung.....	1
2	Management Summary	2
3	Inhaltsverzeichnis	3
4	Abbildungsverzeichnis	6
5	Literaturverzeichnis.....	7
6	Revision.....	8
7	Aufgabenstellung	9
7.1	Ziel	9
7.2	Motivation	10
8	Pflichtenheft.....	12
8.1	Zielsetzung	12
8.2	Systemübersicht	12
8.3	Funktionale Anforderungen.....	12
8.4	Nicht-funktionale Anforderungen.....	12
8.5	Schnittstellen	12
8.6	Umsetzung	12
8.7	Komponenten & Normen	13
8.8	Abnahmekriterien.....	13
8.9	Prüfung Umsetzung	13
9	Projektorganisation & Planung.....	14
9.1	Phasen	15
9.2	Terminplan (Soll)	17
9.3	Risiken.....	19
10	Ideenfindung.....	20
10.1	CAD-Bauteilerfassung	20
10.2	Güllefass	20
10.3	Schleppfix-Arm	21
10.4	Schleppfix.....	22
10.5	CAD-Überblick.....	22
10.6	Lösungsansätze	23
10.7	Mindmap.....	24
10.8	Nutzwertanalyse & Präferenzmatrix.....	24
10.9	Lösungsfindung	26
10.9.1	Montage am Schleppfix.....	26
10.9.2	Montage am Fass	27
10.9.3	Montage am Traktor.....	27

10.9.4	Ausleger unter dem Fass	28
10.9.5	Breitverteilung ohne Schleppfix	28
10.10	Ausgewählte Lösung	29
11	Konzept	30
11.1	Pre-Final CAD	30
11.1.1	Lagerbock	31
11.1.2	Pendelrollenlager	33
11.1.3	Armverlängerung	34
11.1.4	Vorspannsystem (Axial-Rillenkugellager)	35
11.1.5	Federung	36
11.1.6	Schlauchführung	36
11.1.7	Sicherung (Transportstellung)	37
11.1.8	Auflagerbock (Transportstellung)	38
12	Berechnungen	39
12.1	Federkraft	39
12.1.1	Versuchsaufbau Federkonstante	40
12.2	Schlauchzugkraft (überschlägig)	41
12.3	Armwinkel – mathematische Annäherung	43
12.4	FEM-Analyse - Belastung	45
12.5	FEM-Daten	47
12.6	Gewicht	48
12.7	Auflagerreaktion	49
12.8	Pendelrollenlager - Nachweis	50
12.9	Axial-Rillenkugellager - Nachweis	51
12.10	Schrauben am Lagerbock - Nachweis	53
12.11	Finales CAD	57
13	Fertigung	58
13.1	Vorhandenes Teil abändern	58
13.2	Lasern	58
13.3	Abkanten	59
13.4	Lagerbock	59
13.5	Zusammenbau Armverlängerung	60
13.6	Erster Test	62
13.7	Gülle Rohr im Ausleger	63
13.8	Transporthaltehebel	64
13.9	Tatsächliches Gewicht	64
13.10	Transportbock	65

13.11	Verzinken.....	65
13.12	Endmontage und Testfahrt.....	66
14	Konzept – Evaluierung.....	67
15	Terminplan Soll / Ist Vergleich	68
16	Reflektion & Lessons learned	69
17	Schlusswort & Danksagung	70
18	Kommentar zu KI.....	71
Anhang		1

4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektphasen des Basis-Phasenkonzepts	14
Abbildung 2: Terminplan Soll	18
Abbildung 3: Schleppfix Prototyp SVA9.....	21
Abbildung 4: Abholung Prototyp-Arm	21
Abbildung 5: Anpassung Prototyp-Arm.....	21
Abbildung 6: CAD - Schleppfix Flügel	22
Abbildung 7: CAD - vorhandene Bauteile	22
Abbildung 8: Mindmap	24
Abbildung 9: Präferenzmatrix	24
Abbildung 10: Nutzwertanalyse	25
Abbildung 11: CAD – Zeichnungsansicht Anhänger	26
Abbildung 12: KI Zeichnung Traktor	26
Abbildung 13: Skizze - Montage am Schleppfix.....	26
Abbildung 14: Skizze - Montage am Fass	27
Abbildung 15: Skizze - Montage am Traktor.....	27
Abbildung 16: Test - Rolf Bachmann	28
Abbildung 17: Skizze - Montage unter dem Fass	28
Abbildung 18: KI-Skizze - Breitverteiler	28
Abbildung 19: Breitverteiler von Marius im Einsatz.....	28
Abbildung 20: CAD - Position Lagerbock	31
Abbildung 21: Geplante Lagerbockposition	31
Abbildung 22: CAD - Design Lagerbock.....	32
Abbildung 23: Vorhandenes Pendelrollenlager.....	33
Abbildung 24: CAD - Explosionsansicht Armverlängerung	34
Abbildung 25: CAD - Armverlängerung	34
Abbildung 26: CAD - Explosionsansicht Vorspannsystem	35
Abbildung 27: CAD - Zugfeder	36
Abbildung 28: CAD - Schlauchführung Zufuhr.....	37
Abbildung 29: CAD – Sicherung Transportstellung.....	37
Abbildung 30: CAD - Auflagerbock.....	38
Abbildung 31: Skizze Federkonstante	39
Abbildung 32: Physikzusammenfassung aus damaligem Unterricht.....	39
Abbildung 33: Versuchsaufbau - Federkonstante	40
Abbildung 34: Messergebnis - Zuggewicht.....	40
Abbildung 35: Skizze mathematische Annäherung.....	43
Abbildung 36: Skizze - Winkelannäherung	44
Abbildung 37: Diagramm – berechnete Funktion.....	44
Abbildung 38: FEM-Analyse - Gesamtübersicht	45
Abbildung 39: FEM-Analyse - Federdefinition	45
Abbildung 40: FEM-Analyse - kritische Spannung.....	46
Abbildung 41: FEM-Analyse - Winkelberechnung	46
Abbildung 42: Handskizze - Auflagerreaktion	49
Abbildung 43: Übersicht Pendelrollenlager.....	50
Abbildung 44: Übersicht Axial-Rillenkugellager	51
Abbildung 45: Handskizze Querbelaftung.....	53
Abbildung 46: Schnittbild - Schraubverbindung	53
Abbildung 47: CAD-Ansicht - gespannte Hülse	55
Abbildung 48: CAD - Transportposition	57
Abbildung 49: CAD - Arbeitsposition	57

Abbildung 50: Lasermaschine Trumpf	58
Abbildung 51: HMI-Lasermaschine	58
Abbildung 52: Bildergalerie Laserarbeiten	58
Abbildung 53: Masse Lagerbock	59
Abbildung 54: Hauptwelle.....	59
Abbildung 55: Bildergalerie Lagerbock.....	60
Abbildung 56: Fertigung Armverlängerung	60
Abbildung 57: Schweissen Armverlängerung	61
Abbildung 58: Fertigung Wellenrohr	61
Abbildung 59: Bildergalerie Allgemeine Fertigung	61
Abbildung 60: Armverlängerung Testmontage	62
Abbildung 61: Testmontage Gesamtsystem	62
Abbildung 62: Bildergalerie erste Testfahrt.....	62
Abbildung 63: Fertigung Bogen	63
Abbildung 64: Bildergalerie Rohrbogen	63
Abbildung 65: Umlenkrolle	64
Abbildung 66: Transporthaltehebel.....	64
Abbildung 67: Test - Effektives Gewicht	64
Abbildung 68: Transportbock	65
Abbildung 69: Ausleger - Transportposition.....	65
Abbildung 70: Vorbereitete Armverlängerung für Verzinkung	65
Abbildung 71: Verzinkte Teile - Retour	65
Abbildung 72: Nagelpistole.....	65
Abbildung 73: Verzinkte Baugruppe	66
Abbildung 74: Verzinkter Lagerbock.....	66
Abbildung 75: Fernbedienung Drohne.....	66
Abbildung 76: Testfahrt finale Version.....	66
Abbildung 77: Terminplan Soll / Ist.....	68

5 Literaturverzeichnis

(DE), Bundesamt für Umwelt. Einsatz von Düngern in der Landwirtschaft.

Agroscope. Eigenschaften und Anwendungen von Düngern.

Bundestag, Deutscher. Raumgewicht und Rauminhalt von Wirtschaftsdüngerarten.

Führer, Andreas. Projektmanagement für Führungsfachleute.

Handschriftliche Zusammenfassungen. Unterricht TEKÖ.

OpenAI. ChatGPT V5.0.

Roloff/Matek. Maschinenelemente Tabellenbuch.

Roloff/Matek. Maschinenelemente Formelsammlung.

Schweizer-fn.de. Reibwerte von verschiedenen Materialien.

6 Revision

Revisions-Nr.	Änderung	Name:
A	Dokumenterstellung inkl. Formatvorlagen	JD
B	Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text überwiegend die männliche Form verwendet. Selbstverständlich beziehen sich alle Personenbezeichnungen gleichermassen auf alle Geschlechter.	MB
C	Bilderverzeichnis + Quellenangaben	MB
D	Grammatikkorrektur durch M. Dobler	JD
E	Dokumentname geändert auf Vorgabe	MB

7 Aufgabenstellung

Seit dem 1. Januar 2024 ist eine Änderung der gesetzlichen Vorgaben in Kraft getreten, die das Ausbringen von Gülle und flüssigen Vergärungsprodukten mit Breitverteilern auf landwirtschaftlichen Flächen mit einer Hangneigung von bis zu 18 Prozent untersagt. Diese Neuerung ist eine Massnahme im Rahmen der umweltpolitischen Bestrebungen, die Emissionen in der Landwirtschaft weiter zu reduzieren.

Die Landwirtschaft ist einer der Hauptverursacher in der Schweiz, da sie massgeblich zur Freisetzung von Ammoniak in die Atmosphäre beiträgt. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wurden verschiedene Regelungen und technische Vorgaben erlassen. Ziel dieser Massnahmen ist es, die Ammoniak- und Stickstoffemissionen zu verringern. Dies soll insbesondere durch eine effizientere und verlustärmere Ausbringung von Hofdüngern erreicht werden.

Auf der Website des Bundesamts für Umwelt (BAFU) werden mehrere zentrale Punkte genannt, die zu dieser Reduktion beitragen sollen. Diese beinhalten unter anderem:

- Die Pflanzen sind in der Lage, den Stickstoff aufzunehmen
- Der Nährstoffbedarf durch das Pflanzenwachstum ist gegeben
- Bei möglichst kühler und windstiller Witterung düngen
- Hofdünger soll möglichst rasch in den Boden eindringen
- Für Gülle wird ein Schleppschlauch, Schleppschuh oder ähnliches verwendet
- Mist wird rasch in den Boden eingearbeitet

e) Verfahren zur Ausbringung von Gülle und flüssigen Vergärungsprodukten (Agroscope Eigenschaften und Anwendungen von Düngern)

Gülle und flüssige Vergärungsprodukte sind auf Flächen mit Hangneigungen bis 18 Prozent durch geeignete Verfahren möglichst emissionsarm auszubringen, wenn diese Flächen auf dem Betrieb insgesamt 3 oder mehr Hektare betragen (Anhang 2 Ziff. 552 LRV). Als geeignete Verfahren gelten die bandförmige Ausbringung mit Schleppschlauch- oder Schleppschuhverteiler, das Schlitzdrillverfahren mit offenem oder geschlossenem Schlitz sowie die Ausbringung mit Breitverteilern im Ackerbau, sofern die ausgebrachten flüssigen Hof- und Recyclingdünger innerhalb von wenigen (max. bis zu 4) Stunden in den Boden eingearbeitet werden (vgl. Modul Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft, Kapitel 3.7).

7.1 Ziel

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer technischen Lösung, mit der die aktuellen gesetzlichen Vorgaben zur Güllen Ausbringung auf Flächen mit Hangneigungen bis 18% eingehalten werden können. Wünschenswert wäre, wenn unser System in mehr als 18% Hangneigung einsetzbar wäre. Wir werden vor Ort die maximale Hangneigung messen und danach im Pflichtenheft als Ziel setzen.

Da im Betrieb bereits bestimmte Bauteile vorhanden sind, liegt es nahe, diese weiterzuverwenden und diese in die neue Konstruktion zu integrieren. Dadurch soll nicht nur der Material- und Kostenaufwand reduziert werden, sondern auch ein praxisnaher Lösungsansatz entstehen, der sich realistisch und auch kostengünstig während des Projektes umsetzen lässt.

Somit verbindet unser Projekt Umweltaanforderungen mit technischem und wirtschaftlichem Denken.

7.2 Motivation

Die Thematik dieser Diplomarbeit bietet eine einmalige Gelegenheit, ein reales Problem aus der Landwirtschaft auf Maschinenbautechnischer Ebene zu bearbeiten, das einen direkten Bezug zur aktuellen Gesetzgebung und deren praktischen Auswirkung hat. Wir sind überzeugt, dass genau solche praxisnahen Herausforderungen ideal dafür sind, theoretisches Wissen aus dem Studium in konkrete technische Lösungen umzusetzen.

Der Projektumfang ist zudem optimal dafür geeignet, alle Phasen eines technischen Entwicklungsprozesses praktisch durchzuspielen: von der Ideenfindung über die Bewertung und Konstruktion bis hin zur Berechnung und dem Praxisteil. Dadurch erhalten wir vertiefte Einblicke in die technischen Zusammenhänge und können unsere neu gelernten Kompetenzen im Umgang mit CAD, Simulation, Projektmanagement sowie Festigkeitslehre und Maschinentechnik gezielt anwenden.

Nicht zuletzt ist auch der persönliche Bezug ein wesentlicher Motivationsfaktor. Viele landwirtschaftliche Kleinbetriebe sind auf kosteneffiziente Lösungen angewiesen. Natürlich könnte man nur mit dem vorhandenen Fass den Schleppfix betreiben, jedoch verliert man viel Zeit und Kraftstoff durch das Regelmässige Befüllen des Behälters. Ein grösseres Güllefass steht jedoch nicht im Fokus, da dies wiederum unseren Kostenrahmen sprengen würde.

Der Landwirt hat bereits auf das bestehende Fass den Schleppfix montiert, allerdings ohne kontinuierlichen Zufluss. Früher konnte man den Breitverteiler direkt am Traktor befestigen und mit der Verschlauchung dauerhaft Gülle ausführen.

Um die genaue Anzahl an Mehrfahrten zu berechnen, entsteht folgende Rechnung.

Mit einem Fass (7m^3) kann man eine Fläche von ca. 230m Länge x 9m Breite mit dem Schleppfix güllen. Dies ist ein Erfahrungswert, den wir vom Landwirt erhalten haben.

Liter Gülle pro m^2

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

Gegeben:

230m Länge

9m Breite

7m^3 Tankinhalt

$$230\text{m} \cdot 9\text{m} = 2070\text{m}^2$$

$$\frac{v}{A} = \frac{7\text{m}^3}{2070\text{m}^2} = 0.00338\text{m}^3/\text{m}^2$$

$$0.00338\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot 1000 = 3.38\text{l}/\text{m}^2$$

Anzahl Fahrten zum Neu befüllen des Tanks ohne Fix-Verschlauchung

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

Gegeben:

12ha Landwirtschaftsfläche

3.38 l/m²

7m³ Tankinhalt

$$\frac{A \cdot v}{A} = v = 120000 \text{ m}^2 \cdot 0.00338 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 405.6 \text{ m}^3$$

$$\frac{v}{v} = \frac{405.6 \text{ m}^3}{7 \text{ m}^3} = 57.94 \text{ Fahrten}$$

Wenn man das verfügbare Land mit dem vorhandenen Fass weiterhin so betreiben würde, muss der Landwirt das Fass rund 58-mal neu befüllen, um die ganzen Flächen einmal zu düngen.

Gemäss dem Leitfaden von Agroscope (Agroscope Eigenschaften und Anwendungen von Düngern) ist eine Ausbringungsmenge pro Hektare von 20–30 m³/ha im Futterbau und von 30–40 m³/ha im Ackerbau empfohlen.

Dies entspricht somit 2-3l/m², respektive 3-4l/m². Mit diesen Werten und der vorherigen Berechnung, konnten wir die Aussage des Landwirtes überprüfen und den Bereich für richtig empfinden.

8 Pflichtenheft

8.1 Zielsetzung

Das Pflichtenheft beschreibt die technischen Anforderungen und die Rahmenbedingungen für die Konstruktion eines praktikablen Systems. Die Umsetzung soll unter Nutzung der bestehenden Systemkomponenten erfolgen, wobei die Vorgaben gemäss Luftreinhalteverordnung (LRV) vollständig eingehalten werden müssen.

8.2 Systemübersicht

Das Ausgangssystem besteht aus folgenden Bestandteilen:

- Traktor (Zugfahrzeug)
- Güllefass Anhänger
- Schleppfix
- Schwenkarm klein (Prototyp von Schleppfix)

8.3 Funktionale Anforderungen

- Bodennahe Ausbringung von Rindsgülle
- Geeignet für Hangneigungen von mindestens 10% (maximal 20%)
- Integration in Vorhandene Komponenten / Baugruppen
- Kompatibilität mit hydraulischer Steuerung
- Durchgängige Versorgung mit Schlauchverbindung
- Bedienung durch eine Person
- Zulässig nach Strassenverkehrsordnungsgesetz

8.4 Nicht-funktionale Anforderungen

- Wartungsarm
- Beständig gegen Gülle
- Nachrüstbarkeit auf bestehenden Schleppfix ohne vollständige Neukonstruktion

8.5 Schnittstellen

- Mechanisch: Verbindung Schleppfix – Halterung
- Hydraulik: Steuerleitungen
- Hydraulik-/Güllezufuhr: Schlauchleitung von Hauptverteiler

8.6 Umsetzung

- CAD gestützter Entwurf der Halterung und Integration in die Verteilkomponenten
- Auslegung der mechanischen Stabilität mittels Handberechnungen, Festigkeitsanalyse, FEM (Finite-Elemente-Methode)
- Planung von möglichen Klapp- oder Verstaumechanismen für STVO (Maximalbreite: 2.5m, 4m Höhe)

8.7 Komponenten & Normen

- LRV (Luftreinhalteverordnung)
- BAFU-Kapitel 3.7 (Bundesamt für Umwelt)
- Schulbücher der TEKO: z.B. Roloff/Matek Maschinenelemente, Alfred & Wolfgang Böge Technische Mechanik oder Projektmanagement für Führungsfachleute

8.8 Abnahmekriterien

- Vollständige und masshaltige CAD-Modelle für die Produktion eines Prototyps
- Gesetzeskonforme Ausbringtechnik
- Verbindungssystem erlaubt kontinuierliche Versorgung
- Simulationsergebnisse sowie manuelle Berechnungen zeigen ausreichende Stabilität (SF 1.0 min)
- Vollständige Dokumentation

8.9 Prüfung Umsetzung

- Abgleich mit funktionalen Anforderungen
- Prüfung aller CAD-Bauteile auf Beweglichkeit und Montagefähigkeit
- Simulation der Belastung im kritischen Lastfall anhand FEM

9 Projektorganisation & Planung

Im dritten Semester haben wir an der TEKO Glattbrugg das Fach „Projektmanagement“ bei Erkan Dauti besucht. Dabei wurde uns praxisnahes Fachwissen vermittelt, das entscheidend zum erfolgreichen Verlauf eines Projektes ist.

Zum Auffrischen unseres Wissens, haben wir das Buch „Projektmanagement für Führungsfachleute“, welches wir im Unterricht bearbeitet hatten, nochmals durchgelesen. Somit konnten wir wieder nach dem Basis-Phasenkonzept arbeiten, das in Kapitel 2.1 erläutert wird.

(Führer Projektmanagement für Führungsfachleute)

Das nachfolgende Basis-Phasenkonzept besteht aus insgesamt sechs Phasen: Vorstudie, Grobkonzept, Detailkonzept, Realisierung, Einführung und Erhaltung. Wir verwenden es, weil es allgemein, d.h. für viele verschiedene Arten von Projekten, anwendbar ist. Nebst diesem gibt es zahlreiche andere Vorgehensmodelle, die in der Praxis genauso ihren Zweck erfüllen.

Je nach Projektgrösse und -komplexität können einzelne Phasen des Basis-Phasenkonzepts auch zusammengelegt oder ganz weggelassen werden.

Wir haben das Buch nicht als PDF-Datei erhalten. Deshalb haben wir das darin enthaltene Bild in Word manuell rekonstruiert.

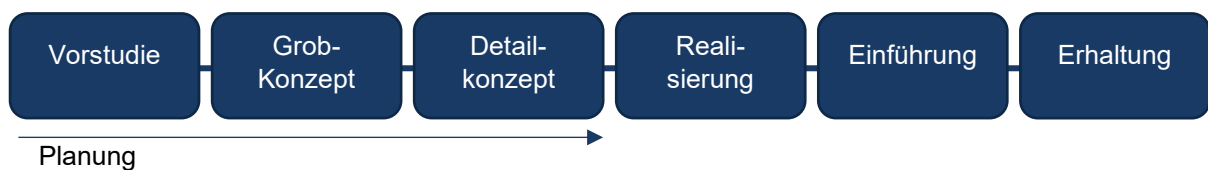


Abbildung 1: Projektphasen des Basis-Phasenkonzepts

Somit konnte von Beginn an mit einer klaren Projektstruktur gearbeitet werden: von der Ist-Aufnahme über die Konzeptentwicklung bis hin zum finalen technischen Produkt.

Die zeitliche Planung wurde in einem Soll-Ist-Zeitplan festgehalten, um Fortschritte und Verzögerungen jederzeit im Blick zu behalten. Durch definierte Meilensteine konnten wir die einzelnen Projektphasen klar voneinander abgrenzen und gezielt abschliessen.

Für die Entscheidungsfindung griffen wir auf Methoden zurück, die wir im Unterricht kennengelernt hatten. Konkret verwendeten wir die Präferenzmatrix und die Nutzwertanalyse, die auch in Kapitel 5 des Buches beschrieben werden. Die dazugehörige Excel-Vorlage stammt direkt aus dem Unterricht und wurde von Erkan Dauti erstellt und verteilt. Mithilfe dieser Methoden konnten wir verschiedene Lösungsansätze objektiv bewerten und nachvollziehbare Entscheidungen treffen.

Auch die Erstellung des Pflichtenhefts sowie das strukturierte Ableiten der Anforderungen, Schnittstellen und Abnahmekriterien basieren auf den Grundlagen des Projektmanagement-Unterrichts. Diese systematische Herangehensweise hat nicht nur unsere eigene Planung erleichtert, sondern auch eine klare Nachvollziehbarkeit für externe Betreuer und Leser geschaffen.

9.1 Phasen

Das Projekt wurde in mehrere aufeinander aufbauenden Phasen gegliedert. Jedes Unterkapitel stellt dabei einen Meilenstein dar, der abgeschlossen sein muss, bevor die nächste Aufgabe bearbeitet werden kann.

Bestehende Komponenten zeichnen

Zu Beginn erfassen wir alle vorhandenen Komponenten – darunter das Güllefass, der Schleppfix, der kurze Schleppfixarm sowie diverse Kleinteile – und modellieren sie in SolidWorks 2023. Da keine Herstellerdaten verfügbar sind, müssen wir einzelne Masse, wie beispielsweise die Wandstärke des Güllefasses, selbst abschätzen.

Optionen skizzieren

Auf Grundlage des CAD-Modells entwickeln wir erste Ideen in Form von Handskizzen direkt am Modell. Dies ermöglicht eine schnelle Visualisierung, ohne dass die Konzepte vollständig konstruiert werden müssen – was Zeit spart und den kreativen Prozess fördert.

Je mehr Varianten wir ausarbeiten, desto fundierter lässt sich im Anschluss eine Nutzwertanalyse durchführen. Dabei begleitet uns ein Leitsatz aus dem Unterricht „Methodische Konstruktionslehre“: *„Um das Problem zu lösen, muss man sich vom Problem lösen.“*

Eine einfache Skizzierebene mit den exakten Abmessungen der vorhandenen Bauteile erleichtert die effiziente Entwicklung und den Vergleich verschiedener Ideen.

Nutzwertanalyse

Zur objektiven Auswahl der besten Lösung wenden wir eine Präferenzmatrix in Kombination mit einer Nutzwertanalyse an. Kriterien wie Gesetzeskonformität, Umsetzbarkeit, Kosten, Wartungsaufwand und Praxistauglichkeit werden gewichtet und die Lösungsvarianten entsprechend bewertet. Die bevorzugte Lösung ergibt sich automatisiert durch eine Excel-Vorlage, die auf den festgelegten Gewichtungen basiert.

Grob CAD

Nach der Auswahl der bevorzugten Lösung erstellen wir zunächst ein grobes CAD-Modell. Es dient der räumlichen Darstellung des Konzepts und bildet die Grundlage für die technische Detaillierung. Dabei berücksichtigen wir insbesondere Anschlussstellen, die Schlauchführung und Befestigungspunkte. Das Modell unterstützt auch die Gespräche mit unserem Diplomcoach, etwa zur Definition der notwendigen Berechnungen.

Eine vollständige manuelle Berechnung der Gesamtanlage würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. Daher analysieren wir nur die kritischen Bauteile im Detail.

Berechnung (Auslegung der Bauteile)

Für zentrale Komponenten wie Halterungen oder bewegliche Teile führen wir gezielte Berechnungen durch, beispielsweise zur Belastbarkeit, zum Biegeverhalten und zur Dimensionierung von Schraubverbindungen. Diese dienen als Grundlage für spätere Simulationen und Festigkeitsnachweise.

Finales CAD

Das finale CAD-Modell entsteht auf Basis der zuvor definierten Anforderungen aus dem Pflichtenheft. Bei der Planung orientieren wir uns an den im Studium vermittelten Prinzipien der Meilensteinplanung und Versionsverwaltung. Die Bearbeitung erfolgt arbeitsteilig mit klar zugewiesenen Verantwortlichkeiten.

Festigkeitsanalyse mittels FEM

In dieser Phase prüfen wir das Modell mithilfe einer FEM-Software auf seine mechanische Belastbarkeit. Das Vorgehen ist systematisch: Zunächst werden Belastungsfälle definiert, anschliessend erfolgt die Simulation und Dokumentation. Die Ergebnisse werden ausgewertet und bei Bedarf in einem Korrekturschritt angepasst. Dieses iterative Vorgehen orientiert sich an den Empfehlungen aus dem Projektmanagement.

Überprüfung der Zielsetzung

Wir überprüfen, ob alle Projektziele – sowohl technischer als auch organisatorischer Natur – erreicht wurden. Dabei wenden wir die Methode des Soll-Ist-Vergleichs an. Die erzielten Resultate werden den definierten Zielvorgaben gegenübergestellt. Abweichungen werden dokumentiert und reflektiert.

Fazit

Zum Abschluss ziehen wir ein umfassendes Fazit – sowohl in Bezug auf die technische Lösung als auch auf den Projektverlauf. Die Reflexion erfolgt anhand zentraler Projektmanagement-Kriterien wie Zielerreichung, Zeitplanung, Teamarbeit und Dokumentationsqualität. Abschliessend halten wir Verbesserungspotenziale für zukünftige Projekte fest.

9.2 Terminplan (Soll)

Um unser Projekt effizient und strukturiert umzusetzen, erstellen wir zu Beginn einen detaillierten Terminplan. Mithilfe dieses Plans wollen wir alle Aufgaben zeitlich einordnen, Abhängigkeiten erkennen und realistische Zeitfenster für die einzelnen Schritte definieren. Unser Ziel ist es, den Überblick zu behalten – sowohl über parallellaufende Tätigkeiten als auch über kritische Punkte im Projektverlauf, die besondere Aufmerksamkeit erfordern.

Der gemachte Terminplan orientiert sich an den Hauptphasen des Projekts, die im Kapitel „Projektphasen“ beschrieben sind. Für jede Phase legen wir Aufgabenpakete fest, bestimmen Zuständigkeiten und definieren grobe Zeiträume. Dabei achten wir bewusst darauf, auch Pufferzeiten einzuplanen. So können wir auf Unvorhergesehenes reagieren, beispielsweise bei Abstimmungsbedarf oder technischen Herausforderungen.

Wir setzen den Terminplan in Form eines Gantt-Diagramms um, das wir mit Microsoft Excel erstellen. Diese visuelle Darstellung zeigt uns auf einen Blick, wann welche Aufgabe beginnt und endet, wo sich Arbeitspakete überschneiden und wann Meilensteine erreicht werden sollen. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, nutzen wir zusätzlich farbliche Markierungen.

Der Terminplan ist dabei kein starres Konstrukt, sondern ein dynamisches Werkzeug, das wir während des Projektverlaufs laufend anpassen. Sobald sich neue Anforderungen ergeben oder einzelne Arbeitsschritte schneller oder langsamer vorangehen als geplant, passen wir den Zeitplan entsprechend an. Diese Flexibilität ist uns wichtig, damit wir auf Veränderungen reagieren können, ohne dabei den Gesamtüberblick zu verlieren.

Zur Koordination im Team nutzen wir den Terminplan ausserdem als Grundlage für regelmässige kurze Besprechungen. In diesen „Projekt-Check-ins“ vergleichen wir den aktuellen Stand mit dem geplanten Verlauf und entscheiden gemeinsam, ob und wo Anpassungen notwendig sind. Auf diese Weise führen wir regelmässig einen Soll-Ist-Abgleich durch, was uns hilft, frühzeitig gegenzusteuern und bei Bedarf Prioritäten neu zu setzen.

Uns ist bewusst, dass kein Projekt exakt nach Plan verläuft, aber je besser wir vorbereitet sind, desto gelassener und professioneller können wir mit Änderungen umgehen.

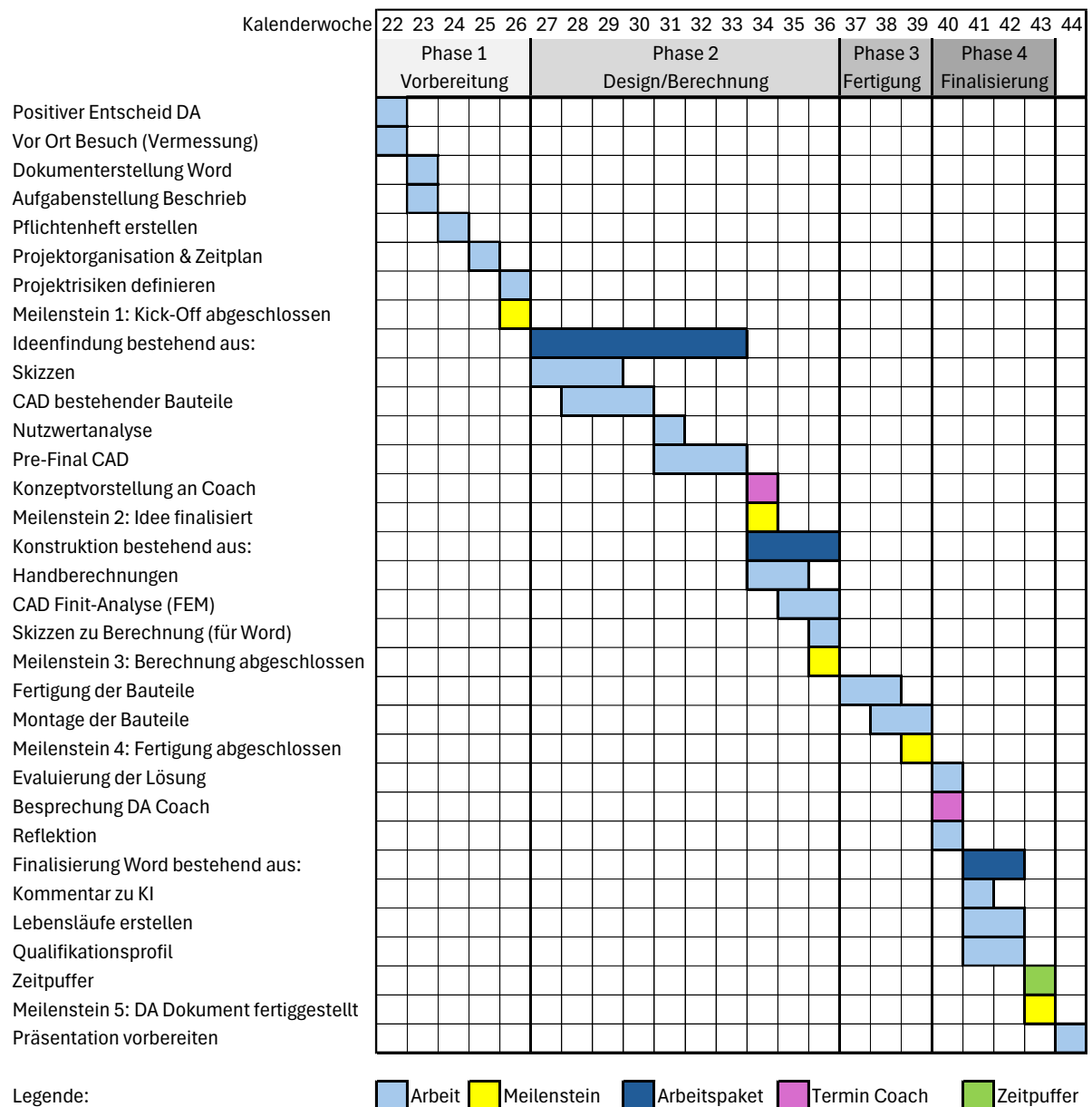


Abbildung 2: Terminplan Soll

9.3 Risiken

Trotz guter Planung und klarer Aufgabenteilung gibt es natürlich einige Risiken, denen wir während des Projekts begegnen können. Viele davon lassen sich nicht vollständig vermeiden, aber wir versuchen, sie so früh wie möglich zu erkennen und realistisch einzuplanen.

Ein Thema, das uns beschäftigt, ist die Fertigung. Ein Teil der Arbeiten soll mit Maschinen und Materialien erfolgen, die Marius in seinem Betrieb oder privat zur Verfügung stehen. Das hat viele Vorteile, zum Beispiel kurze Wege, Eigenverantwortung und Flexibilität. Birgt aber auch gewisse Risiken. Der Betrieb hat verständlicherweise Priorität. Es kann also vorkommen, dass wir Maschinen nur ausserhalb der Arbeitszeiten nutzen können, beispielsweise abends oder am Wochenende. Damit rechnen wir und versuchen, solche Zeitfenster im Voraus einzuplanen, auch wenn das unsere persönliche Freizeit stark einschränken kann.

Ein weiteres Risiko betrifft unsere CAD-Arbeit mit SolidWorks. Die derzeitige Lizenz, die uns über die Schule zur Verfügung steht, läuft am 31. Juli 2025 ab. Sollte kein neuer Lizenzschlüssel rechtzeitig bereitgestellt werden, können wir unsere Konstruktionen nicht wie geplant weiterentwickeln. Das hätte direkte Auswirkungen auf das Projekt, insbesondere, wenn wir später Anpassungen am Modell vornehmen oder noch neue Bauteile zeichnen müssen. Um vorbereitet zu sein, prüfen wir parallel alternative CAD-Optionen wie z.B. Inventor, welches Joël in seinem Betrieb verwendet.

Auch die Zeitplanung birgt gewisse Unsicherheiten. Da wir beide beruflich stark eingebunden sind, müssen wir unser Projekt zeitlich gut mit unseren anderen Verpflichtungen abstimmen. Kurzfristige Änderungen im Arbeitsalltag können schnell dazu führen, dass eine Aufgabe nicht wie geplant abgeschlossen wird. Um dem entgegenzuwirken, arbeiten wir mit Pufferzeiten und verteilen die Aufgaben möglichst flexibel.

Darüber hinaus gibt es kleinere, aber dennoch relevante Risiken, wie zum Beispiel fehlendes oder verzögert geliefertes Material, technische Probleme bei der Fertigung, (zum Beispiel ungenaue Bohrungen oder falsche Abmessungen) oder Kommunikationslücken im Team, wenn Informationen nicht rechtzeitig weitergegeben werden oder Zuständigkeiten unklar bleiben. Solche Dinge klingen banal, können im laufenden Projekt aber schnell zu Verzögerungen führen.

Unser Ziel ist es daher, von Anfang an möglichst offen zu kommunizieren, simpel zu bleiben und frühzeitig gegenzusteuern, wenn wir merken, dass etwas nicht rundläuft.

10 Ideenfindung

10.1 CAD-Bauteilerfassung

Für unsere Projektarbeit entscheiden wir uns bewusst dafür, die Bauteile des bereits aufgebauten Systems zu vermessen und als 3D-CAD-Modell digital nachzubilden. Unser Ziel ist es, auf Basis der realen Geometrie, eigene technische Ideen und Lösungsansätze zu entwickeln. Durch diese Methode werden Entwurfsskizzen und Konzeptüberlegungen deutlich präziser und praxisnaher.

Die Vermessung führen wir direkt vor Ort durch. Dabei nehmen wir alle relevanten Komponenten auf. Darunter den kompletten Anhänger mit Deichsel und Rädern sowie den darauf montierten Schleppfix mitsamt seiner Halterung. Für die Messungen verwenden wir einen Doppelmeter und einen Rollmeter, einfache, aber bewährte Werkzeuge. Damit lassen sich für das Modell alle wichtigen Masse zuverlässig erfassen.

Eine besondere Herausforderung stellt der Schleppfix dar, insbesondere die sogenannten „Schuhe“. Diese sind zwar sichtbar, lassen sich aufgrund ihrer kompakten und verschachtelten Bauweise jedoch nur schwer exakt ausmessen. Gerade in solchen Fällen ist es uns wichtig, mit Ruhe und Genauigkeit zu arbeiten, um später im CAD ein möglichst realistisches und sauberes Modell zu erhalten.

Zur Modellierung nutzen wir die SolidWorks Student Edition, die uns von der TEKO zur Verfügung gestellt wird. Da der Hersteller Schleppfix keine CAD-Daten bereitstellt, modellieren wir sämtliche Bauteile basierend auf unseren Messdaten vollständig selbst. Wir verzichten bewusst auf eine 100-prozentige detailgetreue Abbildung aller Einzelteile, da dies den Aufwand unverhältnismässig erhöhen würde.

Mit der fertigen Baugruppe entsteht ein digitaler Ist-Zustand, auf dem wir im weiteren Projektverlauf direkt aufbauen können. Wir planen, unsere Ideen direkt am Modell zu skizzieren – sowohl digital als auch von Hand. So erkennen wir frühzeitig, wie einzelne Komponenten zueinanderpassen und ob sich unsere Lösungsansätze tatsächlich umsetzen lassen.

10.2 Güllefass

Eines der grössten vorhandenen Bauteile in unserem Projekt ist das Güllefass. Mit einem Tankvolumen von 7 m³ gehört es im internationalen Vergleich zu den kleineren Modellen. Für Schweizer Verhältnisse entspricht diese Grösse hingegen dem Durchschnitt und hat sich in der Praxis gut bewährt.

Es stammt von der Marke Joskin, einem renommierten belgischen Hersteller von Landmaschinen, der sich auf Gülletechnik, Transportlösungen und bodenschonende Systeme spezialisiert hat.

Das Fass ist bereits seit mehreren Jahren im Einsatz. Inzwischen wurde das System mit einer neuen Pumpe ausgestattet, da die ursprüngliche Pumpe keine ausreichende Vakuumentleistung mehr erzeugen konnte. Somit ist das Fass wieder zuverlässig einsetzbar.

10.3 Schleppfix-Arm

Der aktuell verbaute Schleppfix-Arm ist ein Prototyp des Herstellers Swisstec AG, der das originale Schleppfix-System entwickelt hat. Anfang 2023 entschied sich der Vater von Marius für den Kauf eines Schleppfix SFA 9 mit 9 m Arbeitsbreite, um ab 2024 Gülle bodennah ausbringen zu können.

Da der Landwirtschaftsbetrieb in Mettmenstetten viele Flächen auch mit der bewährten Verschlauchungsmethode bewirtschaftet, entstand früh der Wunsch, beide Systeme sinnvoll zu kombinieren. Aus diesem praktischen Bedarf heraus entstand die Idee, diese Herausforderung im Rahmen unserer Diplomarbeit technisch zu lösen. Wie bereits berechnet, wäre die Zahl der nötigen Fahrten zur Gülle Nachfüllung enorm hoch, weshalb eine Lösung mit Verschlauchung langfristig deutlich effizienter und realistischer ist.

Bereits in der Konzeptphase treten wir mit der Firma Swisstec in Kontakt, um zu klären, ob wir für die Planung auf CAD-Daten des Schleppfix zugreifen können. Aus Datenschutzgründen wird dies abgelehnt. Im Gespräch erfahren wir jedoch, dass Swisstec aktuell an einer neuen Ausführung arbeitet: einem weiterentwickelten Modell mit schmetterlingsartiger Klappmechanik und seitlich knickbarem Ausleger. Ein Foto des Prototyps ist rechts beigefügt.

Der Prototyp, den wir im Projekt verwenden, stammt genau aus dieser Entwicklungsphase. Er ist ursprünglich für den Direktanbau an den Traktor konzipiert, was auf dem Foto gut zu erkennen ist. Da das Versuchsteil nicht mehr benötigt wird, stellt uns Swisstec den Prototyp für unsere Diplomarbeit zur Verfügung. Marius holt das Bauteil an einem Samstag direkt im Werk in Jonschwil ab.



Abbildung 3: Schleppfix Prototyp SFA9



Abbildung 4: Abholung Prototyp-Arm



Abbildung 5: Anpassung Prototyp-Arm

10.4 Schleppfix

Der Schleppfix ist bereits am bestehenden Güllefass montiert und bildet einen zentralen Bestandteil unseres Projekts. Es handelt sich um ein bodennahes Gülleausbringsystem des Schweizer Herstellers Brunner Spezialwerkstatt AG. Das System arbeitet ohne rotierende Verteilköpfe oder Ablaufschläuche. Die Gülle wird direkt über verzinkte Stahldoppelschuhe auf den Boden aufgebracht. Somit ist das System einfach, wartungsarm und emissionsarm.

Da das System bereits verbaut ist, übernehmen wir dessen Geometrie in unser CAD-Modell und bauen unsere eigenen Konstruktionen, wie etwa Halterungen oder Erweiterungen, darauf auf.

Im unteren Bild ist unser selbst nachkonstruierter Schleppfix als CAD-Modell zu sehen. Der Zeichnungsaufwand ist hoch, da sich die einzelnen Auslass-Schuhe zwar spiegeln lassen, jedoch viele Radien, Übergänge und Geometrien manuell modelliert werden müssen. Das erfordert besonders bei komplexeren Formen viel Sorgfalt und Genauigkeit.

Kleine Befestigungselemente wie Clips oder Schrauben haben wir bewusst weggelassen, da sie für unsere Konstruktion technisch nicht relevant sind. Unser Ziel ist ein funktionales, vereinfachtes Modell, das sich gut als Grundlage für weitere Anpassungen eignet, beispielsweise für Halterungen, Anbindungen oder Bauraumabschätzungen.



Abbildung 6: CAD - Schleppfix Flügel

10.5 CAD-Überblick

Nun lässt sich das Grundmodell mit allen konstruierten Bauteilen im CAD vollständig visualisieren. Dadurch zeigen sich alle relevanten Masse und wir haben eine solide Grundlage, um darauf aufzubauen und das Modell weiterzuentwickeln. Für die nächsten Schritte, insbesondere zur Erstellung von Skizzen und Konzeptideen, schalten wir in den Linienmodus um. So sind nur noch die Aussenkanten sichtbar, was den Überblick deutlich verbessert. Dieser Modus lässt sich in SolidWorks mit wenigen Klicks aktivieren und eignet sich ideal für konzeptionelles Arbeiten direkt auf dem Modell.



Abbildung 7: CAD - vorhandene Bauteile

10.6 Lösungsansätze

Wir haben uns bewusst dafür entschieden, mit sechs Grundideen zu starten, um ein breites Lösungsspektrum zu erfassen. In einer frühen Phase analysieren wir, welche dieser Ideen grundsätzlich technisch realistisch, baulich machbar und gesetzlich zulässig sind. Dabei lassen wir uns auch vom vorhandenen Aufbau, den gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie den betrieblichen Anforderungen des landwirtschaftlichen Einsatzes leiten.

Für jede dieser sechs Grundideen entwickeln wir eine Variante weiter, die wir anschliessend in unsere Präferenzmatrix und Nutzwertanalyse überführen. Die Bewertung erfolgt auf Basis praxisnaher Kriterien wie Umsetzbarkeit, Stabilität, Materialaufwand, Montageaufwand, Wartungsfreundlichkeit und Gesetzeskonformität. Die strukturierte Auswertung erlaubt es uns, die Stärken und Schwächen der einzelnen Konzepte objektiv zu vergleichen und so eine fundierte Auswahl zu treffen.

Parallel dazu erstellen wir ein Mindmap, das unsere Gedanken strukturiert und die jeweiligen Skizzen zu den Hauptideen ergänzt. So entsteht ein visuell nachvollziehbarer Überblick des gesamten Ideenprozesses, von ersten Ansätzen bis hin zu konkreten Lösungsvorschlägen.

Uns ist auch wichtig, sogenannte „Spezialideen“, die sich als technisch nicht umsetzbar oder gesetzlich nicht zulässig herausstellen, zu dokumentieren. Im Fach „Methodische Konstruktionslehre“ bei Detlef Jüsten haben wir gelernt, dass auch unbrauchbare Ideen Teil eines kreativen Prozesses sind. Sie zeigen, dass man sich mit der Aufgabe intensiv auseinandersetzt, offen denkt und Lösungsräume erkundet. So kann aus einer zunächst „unbrauchbaren“ Idee manchmal eine weiterführende Variante entstehen.

Ein Beispiel dafür ist der Ansatz einer Breitverteilung ohne Schleppfix, der gesetzlich nicht zulässig ist. Durch die Auseinandersetzung mit der alten Lösung wird jedoch der Vorteil des gewählten Systems noch deutlicher. Solche Überlegungen helfen uns, die Projektgrenzen besser zu verstehen und technische Entscheidungen bewusster zu treffen.

Am Ende bleiben vier Lösungsansätze übrig, die wir genauer untersuchen und weiterverfolgen werden. Sie bilden die Grundlage für die konstruktive Ausarbeitung und die Entwicklung des finalen Systems.

10.7 Mindmap

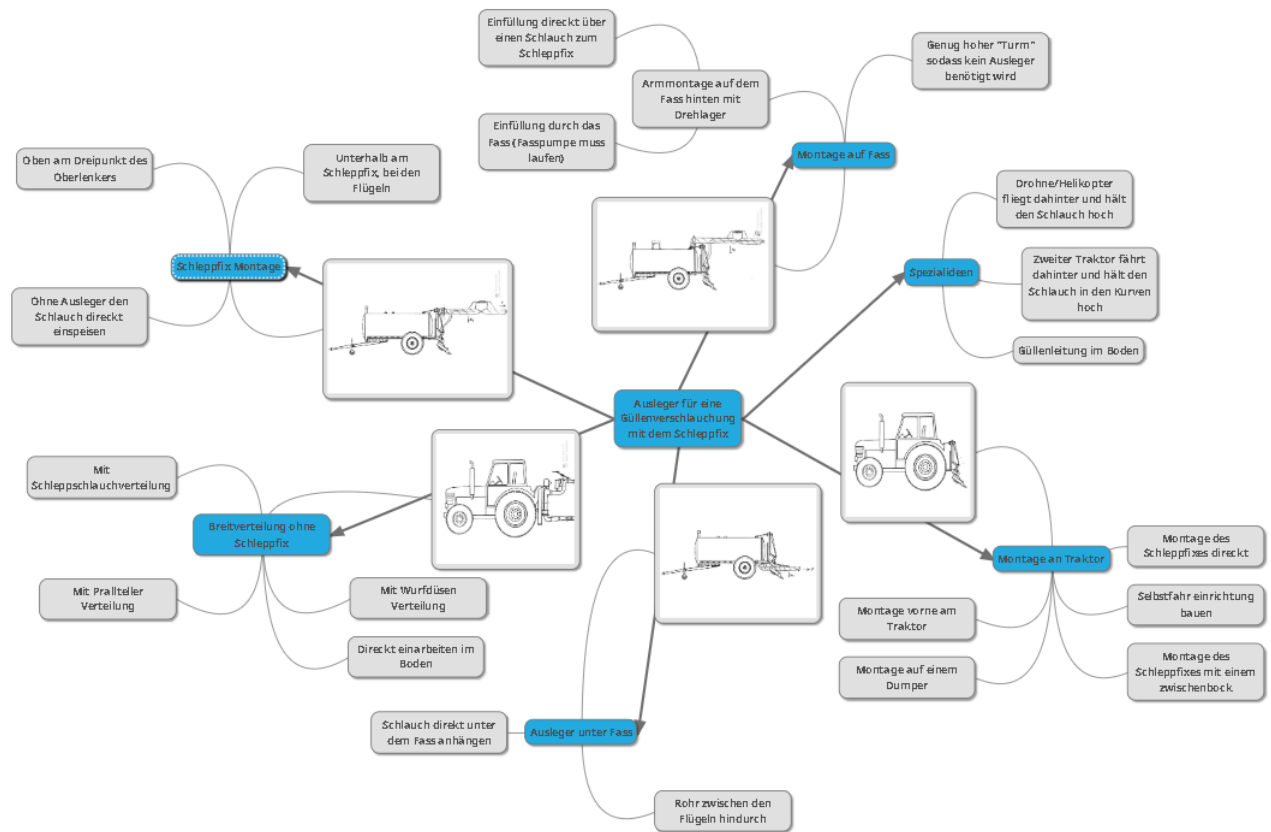


Abbildung 8: Mindmap

10.8 Nutzwertanalyse & Präferenzmatrix

Zur Bewertung unserer Lösungsansätze setzen wir zwei Methoden ein. Die Präferenzmatrix und die darauf aufbauende Nutzwertanalyse. Mithilfe dieser Werkzeuge können wir mehrere Projektideen objektiv vergleichen und die technisch und organisatorisch sinnvollste Variante auswählen.

Der Ablauf beginnt mit der Erstellung einer Präferenzmatrix. Dazu definieren wir zunächst eine Reihe von Bewertungskriterien, die aus unserer Sicht für das Projekt entscheidend sind, wie beispielsweise Gesetzeskonformität, Strassentauglichkeit oder Schwenkradius. Anschliessend vergleichen wir diese Kriterien paarweise miteinander. Durch diese Gegenüberstellung ergibt sich eine Gewichtung, welche die relative Wichtigkeit jedes einzelnen Kriteriums abbildet.

Präferenzmatrix			Ausleger für Gülleverschlachtung	
Rangfolge	Anzahl Nennungen	Kriterien		
4	9	a	Gülle muss Bodennahe verteilt werden	a
9	2	b	Reparaturfreundlich	c
6	6	c	Maximaler Lenkradius erreichbar (Traktor)	d
7	4	d	Umrüstzeit (Zeit bis arbeitsbereit)	e
10	1	e	Verschleissfrei	f
3	10	f	Sicherheit	g
7	4	g	Bodenfreiheit	h
1	12	h	Nach STVO zulässig	i
5	8	i	Von einer Person bedienbar	j
7	4	j	Korrosionsschutz	k
7	4	k	Mit simplen Werkzeugen realisierbar	l
8	3	l	Anschaffungskosten	m
2	11	m	Material nicht überbelastet (N/mm ²)	n
8	0	n		

Abbildung 9: Präferenzmatrix

Anzahl Nennungen / Summe Total Anzahl
nennungen X 100

Sobald die Präferenzmatrix vollständig ausgefüllt ist, übertragen wir die Gewichtung direkt in die Nutzwertanalyse. Dort tragen wir unsere fünf verbleibenden Projektideen ein und bewerten jede davon im Hinblick auf die definierten Kriterien. Die Punktvergabe erfolgt dabei individuell pro Kriterium: Je besser eine Idee das jeweilige Kriterium erfüllt, desto höher fällt ihre Bewertung aus. Am Ende entsteht eine Rangfolge, die klar zeigt, welche Lösung den höchsten Gesamtnutzen bietet.

Die Wahl der Kriterien erfolgt bewusst und unter Berücksichtigung der praktischen Anforderungen des Projekts. Ein zentrales Kriterium ist beispielsweise die bodennahe Ausbringung der Gülle, die bei allen Varianten mit Schleppfix hohe Bewertungen erhält – mit Ausnahme der Breitverteilung ohne Schleppfix. Obwohl diese Idee nur fünf Punkte hinter der besten Lösung liegt, fällt sie wegen fehlender Gesetzeskonformität, wie bereits in Kapitel 7 erläutert, weg.

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist der Schwenkradius. Da nach einer bestimmten Ausbringstrecke immer eine 180 Grad Wendung erforderlich ist, muss der Schwenkbereich des Arms so gross wie möglich sein. Dies ist nur bei einer direkten Montage am Güllefass möglich.

Auch Sicherheitsaspekte fliessen in die Bewertung ein. Eine Lösung, bei der zur Umrüstung jemand auf das Fass steigen müsste, um die Transportsicherung zu lösen, wird deutlich schlechter bewertet. Hierfür vergeben wir nur drei von fünf Punkten.

Als besonders wichtig betrachten wir zudem die Strassentauglichkeit. Bei einer Montage am Fass sollte der Arm in Transportstellung nach vorne geklappt werden können, sodass er nicht über die Seiten hinausragt. Eine Befestigung am Schleppfixbock oder direkt am Traktor lässt dagegen keine kompakte Transportstellung zu. Die Bauteile würden entweder seitlich überstehen oder die Sicht stark einschränken. Deshalb erhalten diese Varianten bei diesem Kriterium nur einen Punkt.

Ein weiteres zentrales Kriterium ist die Bedienbarkeit durch eine einzelne Person, sowohl im Arbeits- als auch im Transportzustand. Varianten, bei denen regelmässig aufwendige Umbauten nötig wären, schneiden hier deutlich schlechter ab.

Schliesslich berücksichtigen wir auch die mechanische Belastbarkeit der vorgesehenen Befestigungspunkte. Ein langer Auslegerarm, wie wir ihn entworfen haben, lässt sich beispielsweise nicht ohne Weiteres am Schleppfixbock befestigen. Dieser würde vermutlich die auftretenden Kräfte nicht aufnehmen können. Auch wenn diese Annahme nicht rechnerisch verifiziert wird, ist sie aus technischer Sicht plausibel. Die statischen Berechnungen führen wir ausschliesslich für die final gewählte Lösung durch.

Lösung	Gewichtung	Schleppfix Montage		Montage auf Fass		Montage an Traktor		Ausleger unter Fass		Breitverteilung ohne Schleppfix	
		Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
Ziele	11,54	5	57,69	5	57,69	5	57,69	3	34,62	1	11,54
Gülle muss Bodennahe verteilt werden											
Reparaturfreundlich	2,56	3	7,69	2	5,13	4	10,26	3	7,69	5	12,82
Maximaler Lenkradius erreichbar (Traktor)	7,69	1	7,69	5	38,46	2	15,38	1	7,69	5	38,46
Umrüstzeit (Zeit bis arbeitsbereit)	5,13	1	5,13	4	20,51	1	5,13	2	10,26	4	20,51
Verschleissfrei	1,28	5	6,41	5	6,41	5	6,41	2	2,56	4	5,13
Sicherheit	12,82	4	51,28	3	38,46	4	51,28	4	51,28	4	51,28
Bodenfreiheit	5,13	3	15,38	5	25,64	2	10,26	1	5,13	3	15,38
Nach STVO zulässig	15,38	1	15,38	5	76,92	1	15,38	1	15,38	5	76,92
Von einer Person bedienbar	10,26	5	51,28	5	51,28	1	10,26	3	30,77	5	51,28
Korrosionsschutz	5,13	3	15,3846154	3	15,38	3	15,38	2	10,26	3	15,38
Mit simplen Werkzeugen realisierbar	5,13	4	20,5128205	3	15,38	4	20,51	4	20,51	5	25,64
Anschaffungskosten	3,85	3	11,5384615	3	11,54	2	7,69	4	15,38	5	19,23
Material nicht überbelastet (N/mm ²)	14,10	1	14,1025641	4	56,41	3	42,31	2	28,21	5	70,51
Summe	100		279,49		419,23		267,95		239,74		414,10
Rang			3		1		4		5		2

Legende:
Gewichtung: aus Präferenzmatrix abgeleitet
Bewertung: 5

Abbildung 10: Nutzwertanalyse

10.9 Lösungsfindung

Dies ist die Skizze unseres aktuellen CAD-Modells. Wir verwenden sie als Grundlage, um unsere fünf Konzeptideen einzuzeichnen. Drei der Varianten bauen direkt auf dem bestehenden Güllefass auf, weshalb wir dieses Modell als Basis für die ersten Skizzen nutzen.

Zwei weitere Lösungen benötigen hingegen keinen Aufbau am Fass, sondern werden am Traktor befestigt. Da uns dafür keine passende Zeichnung vorliegt, entscheiden wir uns, eine Darstellung mithilfe einer KI zu generieren. Marius übergibt der KI (OpenAI ChatGPT V5.0) unser CAD-Bild als Stilvorlage und formuliert den Prompt so, dass ein Traktor in Seitenansicht im gleichen Skizzierstil erzeugt wird.

Das Ergebnis ist eine Traktorzeichnung, die sich nahtlos in unsere Entwurfsarbeit einfügt. Damit stehen uns beide benötigten Grundlagen zur Verfügung, um alle fünf Ideen visuell umzusetzen und miteinander zu vergleichen.

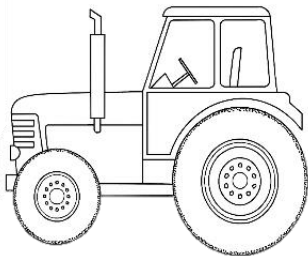


Abbildung 12: KI Zeichnung Traktor

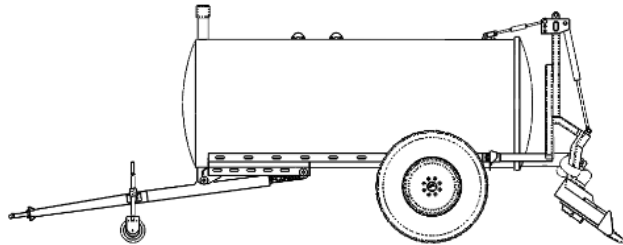


Abbildung 11: CAD – Zeichnungsansicht Anhänger

10.9.1 Montage am Schleppfix

Die erste Lösung, die wir haben, wäre den Auslegerarm direkt am vorhandenen Schleppfix anzubringen. Diese Variante wäre grundsätzlich technisch machbar, allerdings nur, wenn der Arm relativ kurz bleibt und nicht über die seitlichen „Flügel“ des Schleppfix hinausragt, insbesondere beim Kurvenfahren.

Da jedoch eine Auslegeweite von mindestens 4,5 Metern erforderlich ist, was wir als Grundanforderung definieren, entsteht eine erhebliche Verlängerung des ganzen Zuges und ein deutlich stärkeres Biegemoment auf die Halterung. Der Schleppfixbock ist für solche Kräfte nicht ausgelegt, es könnte zu Verformungen oder strukturellen Problemen führen. Eine Verstärkung wäre technisch umsetzbar, jedoch müsste man davor die Farbe der Halterung abschleifen, um Verstrebungen anschweißen zu können.

Hinzu kommt, dass der Arm im montierten Zustand weit hinter das Güllefass ragt. Für den Strassentransport wäre diese Lösung daher ungeeignet, da sie die zulässige Länge deutlich überschreitet.

Eine Demontage vor jeder Fahrt wäre notwendig, was den Bedienaufwand stark erhöhen würde und nicht praktikabel wäre.

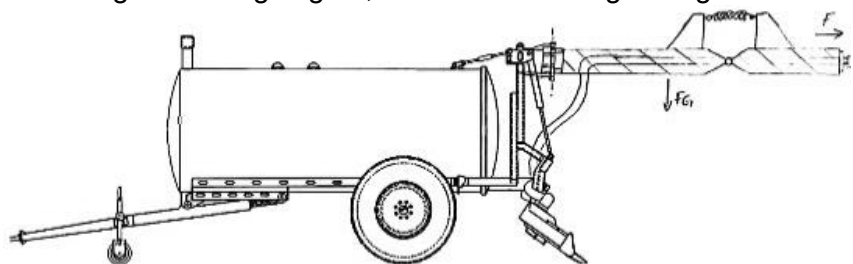


Abbildung 13: Skizze - Montage am Schleppfix

10.9.2 Montage am Fass

Die zweite Lösung stellt eine Weiterentwicklung des ersten Ansatzes dar. Viele der Probleme der vorherigen Variante lassen sich damit gezielt beheben. Der Auslegerarm ist nicht starr, sondern mit einem zentralen Drehpunkt am Güllefass montiert, was eine 360-Grad-Schwenkung ermöglicht. Dadurch kann der Arm in alle Richtungen geführt und bei Bedarf auch für den Transport in eine sichere Stellung gebracht werden.

Für die Strassentransportstellung ist eine zusätzliche Halterung auf einem speziell gezeichneten Bock vorgesehen, auf dem der Arm sicher abgelegt und fixiert werden kann. Somit entfällt eine Demontage und der Ausleger bleibt dauerhaft am Fahrzeug montiert. Das erhöht den Bedienkomfort deutlich.

Diese Lösung erfordert eine technisch anspruchsvollere Umsetzung, insbesondere in Bezug auf Drehverbindung, Arretierung und Stabilität. Dennoch bietet sie den grössten praktischen Nutzen und erfüllt alle relevanten Kriterien wie Bedienbarkeit, Strassentauglichkeit und gesetzliche Vorgaben. Entsprechend schneidet sie in der Nutzwertanalyse als beste Lösung ab.

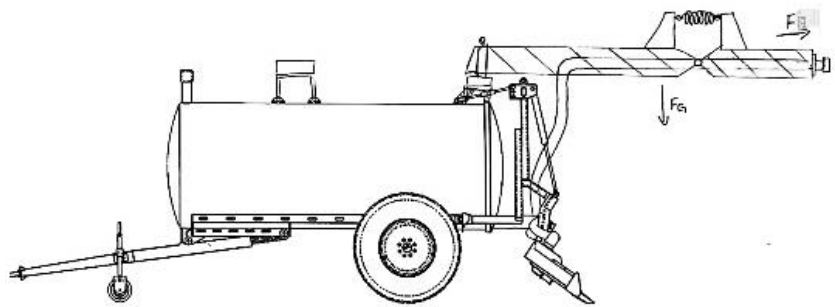


Abbildung 14: Skizze - Montage am Fass

10.9.3 Montage am Traktor

Die Montage des Schleppfix direkt am Traktor war eine unserer ersten Überlegungen im Ideenprozess. Auf den ersten Blick erscheint diese Lösung praktikabel, da der Ausleger dadurch näher am Wendepunkt platziert werden könnte. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass sie mit mehreren Nachteilen verbunden ist.

Der Schleppfix ist fest am Güllefass montiert und bleibt dort das ganze Jahr über einsatzbereit. Um die Verschlauchung zu realisieren, müssten bei dieser Lösung die beiden 4,5 m langen Schleppfix-Flügel jedes Mal demontiert und am Traktor befestigt werden. Dieser Umbau ist nicht nur aufwendig, sondern auch logistisch kaum praxistauglich.

Aufgrund des hohen Montageaufwands und der eingeschränkten Alltagstauglichkeit verwerfen wir diesen Lösungsansatz nach kurzer Überlegung wieder.

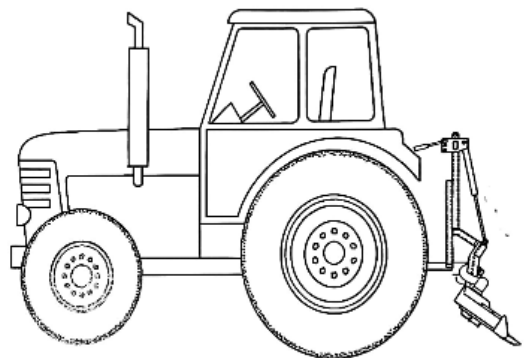


Abbildung 15: Skizze - Montage am Traktor

10.9.4 Ausleger unter dem Fass

Die Idee, den Ausleger unter dem Güllefass zu montieren, stammt ursprünglich von Marius' Vater, der bereits früher versucht hat, sie umzusetzen. Die Grundüberlegung dabei ist, den Arm tief zu positionieren, um den Schwerpunkt zu senken und Platz für den Transport zu sparen.



Abbildung 16: Test - Rolf Bachmann

In der Praxis zeigt sich jedoch, dass diese Lösung erhebliche Nachteile mit sich bringt. Insbesondere bei Kurvenfahrten kann der untere Ausleger nicht ausreichend nachgeben. Dadurch wirken bei engen Wendungen sehr hohe Kräfte auf die gesamte Konstruktion. Um Beschädigungen zu vermeiden, muss extrem weit ausgeholt werden, was die Wendigkeit stark einschränkt und in der Praxis kaum umsetzbar ist.

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die Funktionsweise der Schleppfix-Flügel: Aufgrund der tiefen Position laufen sie nicht mehr korrekt auf dem Boden mit. Dadurch kann die Gülle nicht mehr bodennah ausgebracht werden, was sowohl technisch als auch gesetzlich problematisch ist. Aufgrund der genannten Nachteile kommt diese Variante für uns nicht infrage.

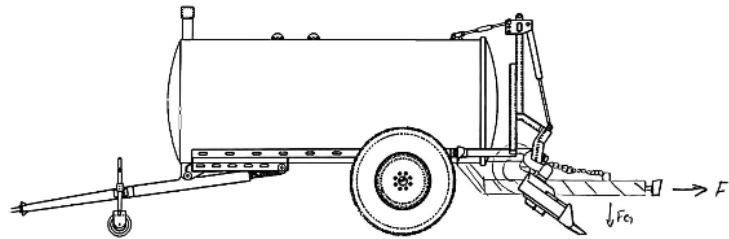


Abbildung 17: Skizze - Montage unter dem Fass

10.9.5 Breitverteilung ohne Schleppfix

Diese Variante entsprach der Art der Gülleausbringung, wie sie bis 2023 auf dem Betrieb von Marius' Familie durchgeführt wurde. Damals war es noch erlaubt, die Gülle mithilfe einer sogenannten Wurfdüse auszubringen. Dabei wurde das Medium über einen schwenkbaren Auslass durch die Luft verteilt. Die Technik war sehr einfach: Ein Traktor mit Hydraulikananschluss genügte, um die Düse seitlich zu schwenken und die Gülle grossflächig zu verteilen.

Diese Lösung war zwar schnell einsatzbereit und technisch unkompliziert, brachte jedoch gravierende ökologische Nachteile mit sich: hohe Ammoniakverluste, starke Geruchsemissionen und eine deutliche Umweltbelastung. Die genannten Aspekte wurden bereits im Rahmen der Ideenbewertung aufgeführt und waren ausschlaggebend dafür, diese Methode nicht weiterzuverfolgen.

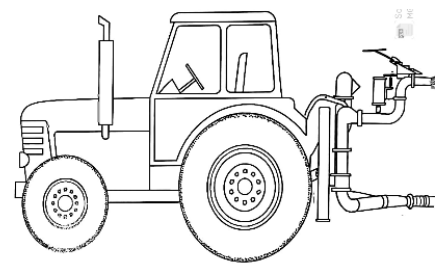


Abbildung 18: KI-Skizze - Breitverteiler



Abbildung 19: Breitverteiler von Marius im Einsatz

Da unser Projekt auf eine zukunftsfähige und gesetzeskonforme Lösung ausgerichtet ist, scheidet diese Variante trotz ihrer Einfachheit frühzeitig aus.

10.10 Ausgewählte Lösung

Nach dem Vergleich aller fünf Ideen, der Auswertung in einer Präferenzmatrix sowie einer Nutzwertanalyse, entscheiden wir uns einstimmig für Idee 2. Sie erfüllt unseren wichtigsten Anforderungen, indem sie sich gut in das bestehende System integrieren lässt und eine praktikable Lösung für den Alltag bietet.

Zwar ist sie konstruktiv etwas anspruchsvoller, dafür bringt sie aber klare Vorteile in Bezug auf Bedienung, Transport und Einsatzflexibilität mit sich. Für uns ist sie der überzeugendste Ansatz – technisch, gesetzlich und betrieblich.

Wir setzen diesen Lösungsansatz nun im weiteren Projektverlauf um und entwickeln daraus die finale Konstruktion.

11 Konzept

11.1 Pre-Final CAD

Da wir in der Vorkonzeptionierung schneller vorankommen sind als geplant, erstellen wir bereits während den Sommerferien das erste Pre-CAD-Modell. Das verschafft uns wertvolle Zeit für die bevorstehenden Berechnungen und die spätere Fertigung.

Ursprünglich wollten wir nur mit einfachen Handskizzen zu unserem Diplomcoach Peter Müller gehen, um zu besprechen, welche Berechnungen notwendig sind. Doch bereits beim Zeichnen der ersten Bauteile erkennen wir kritische Stellen, die später für die Auslegung entscheidend sind. So ergibt sich automatisch ein sinnvoller Einstieg in die vertiefte Konstruktion.

Unser CAD-Modell speichern wir in der Cloud, sodass wir jederzeit auf die aktuelle Version zugreifen können. Dadurch können wir gleichzeitig an verschiedenen Bauteilen arbeiten, Masse direkt überprüfen und Änderungen sofort nachvollziehen. Das ist besonders hilfreich beim Erkennen von Kollisionen zwischen Bauteilen. Durch die gemeinsame Arbeit am digitalen Modell passen wir die Baugruppe laufend an und halten sie stets aktuell.

In den folgenden Kapiteln beschreiben wir das Design jedes einzelnen Bauteils, dessen Funktion und die Überlegungen dahinter. Also auch, ob es wirklich notwendig ist oder eventuell später wieder entfällt.

11.1.1 Lagerbock

Um eine tragfähige Basis für ein Dreipunktlager am Güllefass zu schaffen, wird eine Komponente gezeichnet, die sich an der runden Form des Fasses orientiert. Ziel ist es, eine belastbare Verbindungseinheit zu schaffen, welche die im Betrieb erwarteten Kräfte sicher in die Fassstruktur übertragen kann. Es wird schnell deutlich, dass der Lagerbock – zumindest aus konstruktiver Sicht – erheblichen Biege-, Scher- und Querkraften standhalten muss. Die typischerweise bei Kurvenfahrten oder Fahrten über unebenes Gelände entstehen können. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen noch keine genauen Berechnungen für diese Belastungen vor, da diese erst in einer späteren Projektphase erfolgen sollen. Die aktuelle Auslegung basiert daher auf technischen Erfahrungswerten, konstruktivem Augenmass sowie der Nutzung des verfügbaren Materials.

Wobei gezielt auf bereits vorhandene Stahlteile zurückgegriffen wird. Ziel ist es, mit den gegebenen Mitteln, eine möglichst stabile und fertigungstechnisch einfache Lösung zu entwickeln. Sollten spätere Berechnungen zeigen, dass einzelne Bauteile unterdimensioniert sind, kann das CAD-Modell entsprechend angepasst werden.

Für die tragenden Komponenten haben wir S235 gewählt. Ein niedriglegierter Baustahl mit einer Mindeststreckgrenze von 235 MPa, der sich gut für einfache Konstruktionen eignet. Im Lastenheft wurde für die mechanische Auslegung ein Sicherheitsfaktor von etwa 1.5 vorgesehen. Dieser hohe Wert berücksichtigt die Unsicherheiten, die sich durch wechselnde und schwellende Belastungen im realen Betrieb ergeben können sowie das Fehlen präziser Belastungsdaten. Da die Belastungssituation insbesondere bei Fahrten über Ackerböden mit dynamischen und teils ungerichteten Kräften verbunden ist, wird die Konstruktion bewusst robust gehalten. Ein Nachweis der tatsächlichen Spannungsverhältnisse im System erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt, wobei sich die Berechnung voraussichtlich auf die Schraubenverbindungen und die Hebelwirkung am Dreipunktlager konzentrieren wird. Ob der Lagerbock selbst zusätzlich rechnerisch untersucht wird, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch offen. Er ist jedoch konstruktiv so gestaltet, dass er durch seine massive Bauweise ausreichend Sicherheitsreserven bietet und als tragendes Verbindungselement grundsätzlich belastbar ausgeführt ist. Ziel ist es vor allem sicherzustellen, dass die entstehenden Kräfte aus dem Betrieb über die gewählten Verbindungspunkte sicher in das System eingeleitet werden können. Aussagen zur Dauerfestigkeit, zu lokalen Spannungsspitzen oder zur Dimensionierung von Schweißnähten und Übergängen zwischen verschiedenen Wandstärken werden in der aktuellen Projektphase nicht getroffen. Sollte sich im Rahmen der späteren Berechnung zeigen, dass am Lagerbock kritische Spannungen auftreten, kann auch dieser Bereich gezielt analysiert und im CAD entsprechend angepasst werden.

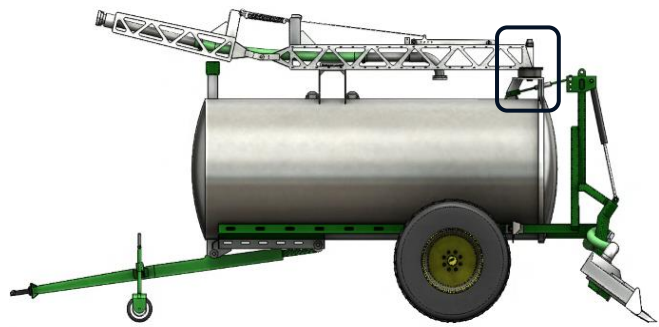


Abbildung 20: CAD - Position Lagerbock



Abbildung 21: Geplante Lagerbockposition

Die doppelwandige Ausführung im hinteren Bereich des Fasses wurde konstruktiv bewusst mitgenutzt. An dieser Stelle sind in der CAD-Planung seitliche Verstärklingslaschen vorgesehen, die auf die äussere Mantelwand aufgeschweisst werden sollen. Über diese Laschen wird später eine Verschraubung mit M16-Schrauben montiert. Diese Verbindung übernimmt vor allem die Aufgabe, Querkkräfte abzuleiten, die insbesondere entstehen, wenn der Schwenkarm in einem Winkel von etwa 90 Grad zum Fass steht. Die Auslegung der Schrauben auf Abscherung, Flächenpressung und Schraubenanzug wird im Nachgang berechnet. Derzeit dient die gewählte Dimensionierung in erster Linie als konstruktive Richtlinie, die sich an typischen Lastfällen orientiert und durch Erfahrungswerte gestützt wird.

Am vorderen Bereich des Lagerbocks wird eine zusätzliche Anbindung an eine bereits vorhandene Lasche am Fass eingeplant. Diese Lasche wird in ihrer ursprünglichen Form beibehalten, um den Fertigungsaufwand so gering wie möglich zu halten. Durch den Verzicht auf zusätzliche Schweissarbeiten können thermische Verformungen vermieden und die Montage vereinfacht werden. Aufgrund der begrenzten Materialstärke ist es in diesem Bereich jedoch nicht möglich, Schrauben grösser als M12 einzusetzen. Eine Vergrösserung der Bohrungen hätte die Restwandstärke zu stark reduziert, weshalb wir uns im aktuellen Entwurf auf die vorhandene Schraubengrösse beschränken. Auch hier erfolgt die rechnerische Bewertung im späteren Verlauf, insbesondere hinsichtlich der lokalen Spannungen und der strukturellen Tragfähigkeit der Verbindung.

Ein wesentlicher Vorteil dieser vorderen Anbindung liegt in ihrer Position: Da sich die Lasche weit vorne am Fass befindet, ergibt sich ein verlängerter Hebelarm für die Lagerung. Diese verlängerte Abstützung verbessert die Lastverteilung in axialer Richtung, was sich positiv auf die Gesamtsteifigkeit des Systems auswirkt. Trotz der kleineren Schraubenabmessung im vorderen Bereich ergibt sich aus der Kombination mit der rückseitigen Verschraubung auf der doppelwandigen Struktur ein insgesamt robustes Verbindungssystem. Die geplante Flächenauflage auf der Rückseite, in Kombination mit der vorderen Punktabstützung, erzeugt eine kraftschlüssige Verbindung, die nach aktuellem Stand eine gute Grundlage für die späteren Nachweise bietet.

Da sich das Projekt derzeit ausschliesslich im CAD-Stadium befindet, stellt die vorliegende Konstruktion eine erste konzeptionelle Ausarbeitung dar. Weder die Festigkeit einzelner Bauteile noch die Sicherheit der Schraubenverbindungen ist bisher rechnerisch nachgewiesen. Fragen zu Spannungsspitzen, Kerbwirkungen, Schweissnahtbelastungen oder zur kritischen Beanspruchung der nur 6 mm starken Innenwand, sowie der Fassstruktur bleiben offen. Sie werden zu einem späteren Zeitpunkt systematisch analysiert. Der aktuelle Entwurf bietet jedoch eine konstruktiv durchdachte Grundlage, auf der in der Berechnungsphase gezielt aufgebaut werden kann. Sollte sich aus den folgenden Nachweisen eine Anpassung ergeben, ist das CAD-Modell entsprechend flexibel und lässt sich ohne grundlegende Umkonstruktion modifizieren.



Abbildung 22: CAD - Design Lagerbock

11.1.2 Pendelrollenlager

Das Pendelrollenlager stammt noch aus dem alten Betrieb, indem Marius gearbeitet hat. Nachdem die Firma im Jahr 2022 Insolvenz anmelden musste, hat er den gesamten Betrieb aufgekauft. Viel Material und Bauteile, die noch vorhanden waren, hat er entweder selbst verwendet oder später weiterverkauft. Da er auf seinem Bauernhof genügend Platz hatte, lagerte er vor allem Rohmaterialien und grössere Komponenten bei sich ein, anstatt es direkt zu verkaufen. So ist auch das grosse Pendelrollenlager in seinen Besitz gekommen.

Eigentlich ist dieses Lager für unser Projekt zu gross. Rein vom Gefühl her wirkt es überdimensioniert. Es hat eine kegelige Bohrung, kann nachgeschmiert werden und ist massiv gebaut. Ursprünglich war es für eine andere Anwendung gedacht. Da es aber schon vorhanden war und wir keine hohen Kosten für ein neues Lager einplanen wollten, war es am Ende eine ganz einfache Rechnung: Das Lager war vorhanden, funktionstüchtig und qualitativ hochwertig. Also haben wir es im CAD abgebildet, um es später im Konstrukt verwenden zu können.



Abbildung 23: Vorhandenes Pendelrollenlager

Ein Blick auf die Herstellerseite zeigt: Der Neupreis liegt bei knapp 3.400 Euro. Der Innendurchmesser beträgt 120 mm, was für unsere Konstruktion eigentlich zu gross ist, und der Aussendurchmesser liegt bei 260 mm. Trotzdem bringt uns das Lager einige Vorteile: Die statische Tragzahl liegt bei rund 1.120 kN, was für unsere Anforderungen wahrscheinlich mehr als ausreichend sein wird. Das Rollenlager läuft ohnehin sehr langsam und ist um ca. 300° schwenkbar. Somit liegen wir unter 10 Umdrehungen pro Minute. Bei so geringen Drehzahlen spricht man von statischem Betrieb. Das bedeutet, dass bei der späteren Berechnung die statische Kennzahl zum Tragen kommt und nicht die dynamische. Dieses Thema haben wir damals im Fach Maschinentechnik bei Herr Peter Müller behandelt.

11.1.3 Armverlängerung

Die Armverlängerung konstruieren wir nach dem gleichen Aufbau wie beim Prototyp der Firma Swisstec AG. Bereits in der Planungsphase achten wir darauf, dass keines der Bauteile länger als 2.990 mm ist. Dies ist die maximale Bearbeitungslänge der Laserschneidanlage bei der Metalldienste GmbH, bei der Marius angestellt ist. Die Zielreichweite des Arms beträgt 4,55 m, sodass wir mit dem Schleppfix eine effektive Arbeitsbreite von rund 9 m auf beiden Seiten abdecken können.

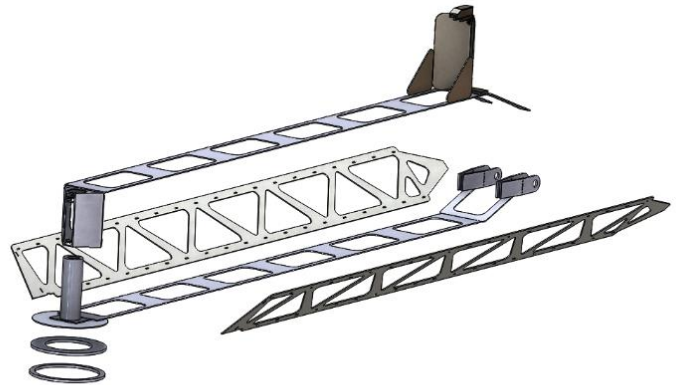


Abbildung 24: CAD - Explosionsansicht Armverlängerung

Die Verlängerung wird auf das Hauptlager aufgesteckt. Wie sie dort in Position gehalten und gesichert wird, beschreiben wir im nächsten Kapitel detaillierter. Die Konstruktion ist so ausgelegt, dass sie die Kräfte aus Eigengewicht, Schlauchzug und Richtungswechseln beim Wenden aufnimmt und über den Lagerbock auf das Güllefass überträgt. Dabei wirkt die Armverlängerung wie ein Hebel, was bei der Festigkeitsauslegung eine zentrale Rolle spielt.



Abbildung 25: CAD - Armverlängerung

Fast alle Bauteile fertigen wir aus 4 mm starkem Stahlblech. Die beiden unteren Ringe, die als Lagerführung und Auflager dienen, bestehen aus 10 mm starkem Blech, um die nötige Stabilität zu gewährleisten.

Die Seitenteile versehen wir mit Schlitz-Noppen-Verbindungen, welche eine präzise Ausrichtung beim Verschweissen ermöglichen. Die Schlitzlöcher dimensionieren wir 0,2 mm grösser als die Noppen. Dies ist ein bewährter Toleranzwert, den Marius aus der Praxis kennt.

Auch die Materialeffizienz spielt in unserer Konstruktion eine wichtige Rolle: Die kleineren Komponenten, wie die Federhalterung, werden so gestaltet, dass sie direkt aus dem Verschnitt der Hauptblechteile gefertigt werden können. So reduzieren wir Abfall und vereinfachen den Fertigungsprozess.

Die Konstruktion im CAD erweist sich als deutlich komplexer als zunächst angenommen. Aufgrund der zahlreichen Schnittstellen, Winkel und Bauteilübergänge kommt es bei der Baugruppenmontage mehrfach zu Kollisionen. Durch schrittweises Überarbeiten, laufende Rücksprachen im Team und kontinuierliche Modellanpassungen gelingt es uns jedoch, die Baugruppe erfolgreich und vollständig umzusetzen.

11.1.4 Vorspannsystem (Axial-Rillenkugellager)

Dieses System übernimmt eine sicherheitsrelevante Aufgabe, da es verhindert, dass sich der Auslegerarm unbeabsichtigt nach oben aus seiner Lagerung löst. Dies kann beispielsweise durch Erschütterungen, Schlauchzug oder unvorhergesehene Bewegungen verursacht werden. Da der Arm lediglich aufgesteckt ist, wäre ein Herausheben theoretisch möglich. Um dies zu vermeiden, haben wir eine einfache, aber effektive mechanische Sicherung integriert.

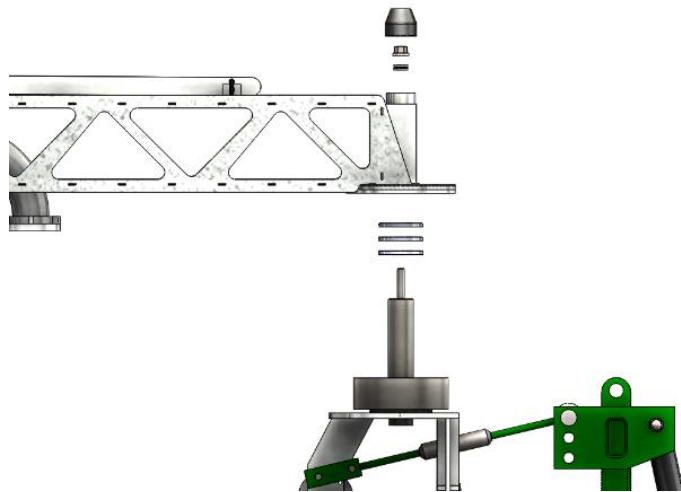


Abbildung 26: CAD - Explosionsansicht Vorspannsystem

Im Zentrum steht ein massiver Bolzen, der mittig durch das Lager geführt wird. Auf diesen Bolzen schweissen wir eine Schraube. Sie dient als Anschlag und blockiert das Weiterrutschen des Arms nach oben über diesen Punkt hinaus.

Da der Innendurchmesser des Lagers nicht exakt dem Durchmesser der vorhandenen Welle von Marius entspricht, setzen wir drei Ausgleichsscheiben ein. Diese gleichen das Untermass aus und sorgen dafür, dass der Arm sicher geführt wird und weiterhin drehbar gelagert ist, ohne Spiel oder Verkantung. Gleichzeitig ersparen wir uns die Beschaffung einer grossdimensionierten Vollwelle, die schwer zu beschaffen und kostenintensiv wäre.

Sobald der Arm aufgesteckt ist, montieren wir von oben ein Axial-Rillenkugellager. Dieser Lagertyp ist darauf ausgelegt, axiale Kräfte, also Kräfte entlang der Längsachse, aufzunehmen. Es besteht aus einem Kugelkranz zwischen zwei Lagerscheiben. Im Unterschied zu normalen Rillenkugellagern, welche vor allem radiale Belastungen abfangen, eignet sich dieses Lager ideal, um Druck von oben aufzunehmen, ohne die Drehbewegung zu behindern.

Damit alle Bauteile sicher in Position bleiben und sich kein Spiel bilden kann, wird das Lager mit einer M20-Mutter vorgespannt.

Zum Schutz vor Wasser, Schmutz und Witterungseinflüssen setzen wir abschliessend eine 3D-gedruckte Abdeckkappe auf die obere Einheit. Sie lässt sich bei Bedarf einfach abnehmen, beispielsweise für Wartungsarbeiten oder um die Mutter nachzuziehen.

Da wir beide privat über 3D-Drucker verfügen, war es naheliegend, dieses Bauteil selbst herzustellen. Joël besitzt einen Drucker mit einem Bauraum von 300 × 300 × 400 mm und einem 0,6 mm Druckkopf für grössere Teile. Marius kann mit einem 0,4 mm Druckkopf und einem Bauraum von 240 × 240 × 240 mm besonders präzise Komponenten fertigen. Für dieses Bauteil entscheiden wir uns bewusst für den Druck auf Marius' Gerät, da die Genauigkeit im Übergangsbereich eine wichtige Rolle spielt.

Als Druckmaterial wählen wir PETG (Polyethylenterephthalatglykol), da es im Vergleich zu PLA (Polylactid Acid) eine höhere Temperaturbeständigkeit bietet. PETG ist zwar etwas schwieriger zu drucken, dafür aber robuster und witterungsbeständiger. Aus früheren Schulprojekten haben wir bereits einige Teile erfolgreich gedruckt und verfügen beide über ausreichende Erfahrung mit dieser Technologie.

11.1.5 Federung

Auch die Federung für unseren Ausleger ist bereits vorhanden. Sie stammt von einem alten Frontmähwerk, das früher auf dem Hof im Einsatz war, inzwischen aber nicht mehr existiert. Die Feder ist in gutem Zustand und hat genau die Länge, die wir für unsere Konstruktion benötigen.



Abbildung 27: CAD - Zugfeder

Einzigiger Anpassungsbedarf besteht bei der Befestigung. Diesen werden wir pragmatisch und zuverlässig mithilfe von Schäkeln und Ringschrauben lösen, sodass die Feder spielfrei, aber flexibel montiert werden kann.

Die exakte Berechnung der Federkraft planen wir für einen späteren Projektschritt. Basierend auf Erfahrungswerten aus der Landwirtschaft und dem ursprünglichen Einsatzzweck der Feder gehen wir davon aus, dass ihre Charakteristik gut zu unserem Aufbau passt.

Die Modellierung der Feder im CAD erweist sich jedoch deutlich anspruchsvoller als zunächst angenommen. Die Kombination aus enger Windung, variierendem Durchmesser und gleichmässiger Spiralförmigkeit lässt sich mit herkömmlichen Zeichenmethoden kaum realistisch umsetzen. Erst mithilfe der Helix-Funktion und eines passenden Querschnittsprofils gelingt uns eine stabile, vereinfachte Darstellung, die sich sauber in die Gesamtbaugruppe integrieren lässt.

Da wir im Unterricht bisher keine beweglichen Bauteile im CAD modelliert haben, bleibt die Feder in unserer Baugruppe vorerst statisch. Um das Deformationsverhalten dennoch darstellen zu können, planen wir ein zweites Modell, das den Zustand der vorgespannten oder belasteten Feder abbildet. Sobald die Federberechnung abgeschlossen und der genaue Federweg bekannt ist, können wir dieses zweite Modell mit exakten Abmessungen erstellen und in die Baugruppe einfügen.

11.1.6 Schlauchführung

Für die Gülleführung vom Ausleger zurück zum Fass möchten wir möglichst viel vorhandenes Material weiterverwenden. Im bestehenden Schleppfix-Arm ist bereits ein 80 mm Stahlrohr eingeschweisst, das wir eins zu eins übernehmen können.

Zwischen diesem festen Rohr und dem Auslegerarm benötigen wir jedoch ein Verbindungselement, welches mitbeweglich ist. Der kleine Arm, der vertikal zum grossen Arm schwenkbar ist, wird durch die Feder in Position gehalten und bewegt sich im Betrieb auf und ab. Deshalb ist hier ein flexibler Schlauch notwendig. Er muss diese Bewegungen aufnehmen können, ohne undicht zu werden oder Schaden zu nehmen.

Wir entscheiden uns für einen NBR/PVC-Schlauch (Acrylnitril-Butadien-Kautschuk/Polyvinylchlorid). Dieser ist resistent gegen Gülle und eignet sich für den landwirtschaftlichen Gebrauch. Auf dem Hof ist noch ein Reststück eines solchen Schlauchs vorhanden. Dieser passt in Durchmesser und Biegeradius.

Am hinteren Ende des Auslegers, also in der Nähe der Lagerung, soll der Schlauch so gut wie möglich nach unten geführt werden, um den Weg zur Übergabestelle am Fass

möglichst kurz zu halten. Dazu planen wir einen 90-Grad-Bogen, welcher die Leitung direkt und sauber nach unten führt.

Ein gebogenes Rohrstück dieser Grösse wäre zwar im Handel erhältlich, würde aber deutlich mehr kosten, als wir für ein so einfaches Teil ausgeben möchten. Deshalb sagt Marius pragmatisch: „Ich mach das selbst.“

Dank seiner Erfahrung im Metallbau, seines Zugangs zu Bandsägen und anderen passenden Werkzeugen ist das machbar, wenn auch mit etwas mehr Zeitaufwand. Dafür passt der Bogen am Ende exakt zur restlichen Konstruktion. Wieviel Zeit dieses kleine Bauteil brauchen wird, sehen wir dann in der Fertigungsphase.

Um den Verlauf der Rohrleitung besser darzustellen, haben wir sie in der unteren Abbildung blau eingefärbt. So lässt sich der Aufbau auf einen Blick erfassen und das Bild wirkt zugleich übersichtlicher und anschaulicher.

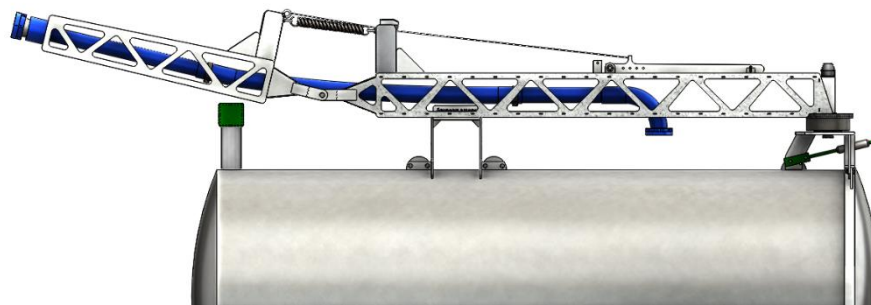


Abbildung 28: CAD - Schlauchführung Zufuhr

11.1.7 Sicherung (Transportstellung)

Damit der Auslegerarm in Transportstellung um 180 Grad nach vorne geschwenkt werden kann, muss er zuvor leicht angehoben werden. Andernfalls würde er beim Schwenken mit dem Schauglas am Güllefass kollidieren, was natürlich vermieden werden muss.

Um dieses Problem zu lösen, entwickeln wir ein einfaches, aber effektives Hebesystem. Das Ziel besteht darin, den vorderen Arm, um etwa 40 cm über das Fass hinweg zu heben. Das möglichst ohne zusätzliche Hilfspersonen und ohne grossen Kraftaufwand.

Unsere Lösung basiert auf einem mechanischen Prinzip mit Drahtseil, Umlenkrollen und Hebelwirkung. Durch die geeignete Positionierung von Seilführung und Rollen soll es möglich sein, den Arm kontrolliert und sicher anzuheben, bevor er nach vorne geschwenkt wird.

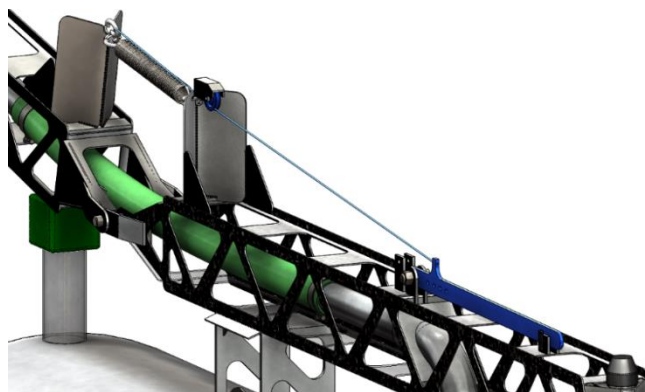


Abbildung 29: CAD – Sicherung Transportstellung

11.1.8 Auflagerbock (Transportstellung)

Der Auflagerbock für unseren Auslegerarm wurde bewusst einfach konstruiert. Das Ziel besteht darin, die vertikalen Kräfte zuverlässig in der Parkposition aufzunehmen und gleichzeitig eine saubere Auflage auf dem Fass zu gewährleisten.

Dazu setzen wir links und rechts jeweils eine 10 mm starke Stahlplatte als seitliche Haupttragstrukturen ein. Diese sollen die auftretenden Belastungen zuverlässig aufnehmen. Der untere Teil des Bocks ist so geformt, dass er dem Radius des Güllefasses exakt entspricht. Dadurch liegt der Bock satt auf und kann so die Kräfte auf die dünne Wandung des Fasses gut verteilen.

Die obere Verbindungsplatte besteht aus 4 mm Stahlblech. Sie ist an der Vorderseite um 30 Grad abgekantet, sodass der Auslegerarm beim Herunterlassen leicht auffahren kann, ohne anzustossen. Auf der Rückseite ist sie senkrecht (90 Grad) hochgekantet, sodass sie als Anschlag und gleichzeitige Transportsicherung dient.

Damit das Zink nicht aufgekratzt wird, wenn der Arm auf dem Bock schleift, werden unterhalb vom Arm noch Aluminiumkufen angeschraubt. Mit denen wird die Reibung aufgenommen.

Zusätzlich sind Winkel- und Flacheisen mit Lochbohrungen geplant, durch die später zwei Bolzen gesteckt werden. Diese Bolzen sichern den Arm im parkierten Zustand.

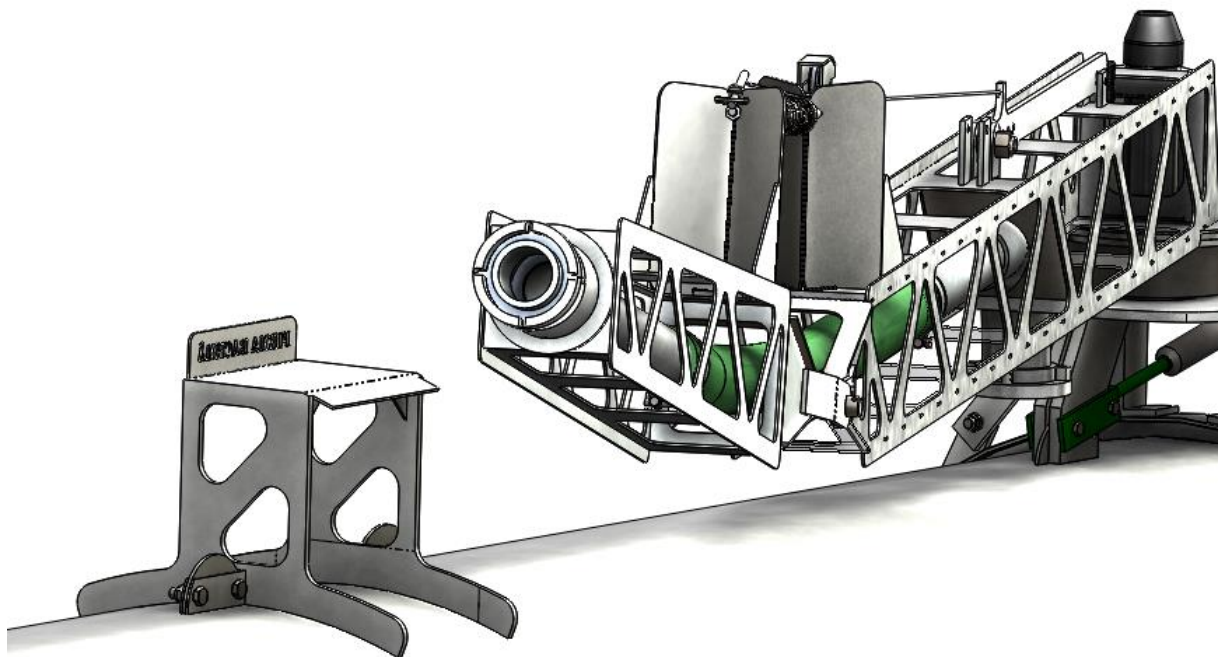


Abbildung 30: CAD - Auflagerbock

12 Berechnungen

In diesem Abschnitt werden alle Berechnungen der ausgewählten Komponenten händisch durchgeführt. Die FEM-Analyse wird erst zu einem späteren Zeitpunkt gemacht, da vielleicht nach den händischen Berechnungen bereits kritische Bauteile erkannt werden und wir diese noch im CAD verstärken müssen.

12.1 Federkraft

Da es sich bei der untersuchten Feder um ein ausgebautes Bauteil aus einem älteren Frontmähwerk handelt, sind uns keine technischen Unterlagen oder Datenblätter mehr bekannt. Insbesondere die Federkonstante «D».

Diese Grösse ist jedoch für die weitere Analyse von grosser Bedeutung, da sie direkt das Verhalten der Feder unter Belastung beeinflusst. Beispielsweise bei der Ermittlung von der finalen Form des Auslegers und somit auch bei den Reaktionskräften auf den Lagerbock, da sich der Winkel, in dem die Kraft eingeleitet wird, verändert.

Die Federkonstante beschreibt, wie viel Kraft notwendig ist, um die Feder um eine bestimmte Strecke in unserem Fall zu dehnen. Ist sie zu gross, also ist die Feder zu steif, muss deutlich mehr Kraft aufgewendet werden, um sie zu bewegen. Dies hat zur Folge, dass sich der resultierende Hebel verlängert und die Kraft ungünstig und oft mit erhöhter Belastung in nachfolgende Bauteile eingeleitet wird. Ist die Federkonstante hingegen zu klein, also die Feder zu weich, kann es passieren, dass sie sich unter der Betriebslast überdehnt. Dabei wird das elastische Verformungsvermögen überschritten und die Feder geht in den plastischen Bereich über. So würde sie sich dauerhaft verformen und wäre nicht mehr funktionstüchtig.

Da uns die Formel zur Berechnung der Federkonstanten nicht mehr präsent ist, schlagen in alten Physikunterlagen nach. Konkret in handschriftlichen Zusammenfassungen aus dem damaligen Schulunterricht die auf dem Skript basieren. Dort finden wir das sogenannte Hookesche Gesetz wieder, welches nach dem englischen Physiker Robert Hooke benannt ist.

Dieses Gesetz beschreibt den linearen Zusammenhang zwischen der auf eine Feder wirkenden Kraft und ihrer Verformung.

Federkraft

$$F = D \cdot \Delta l$$

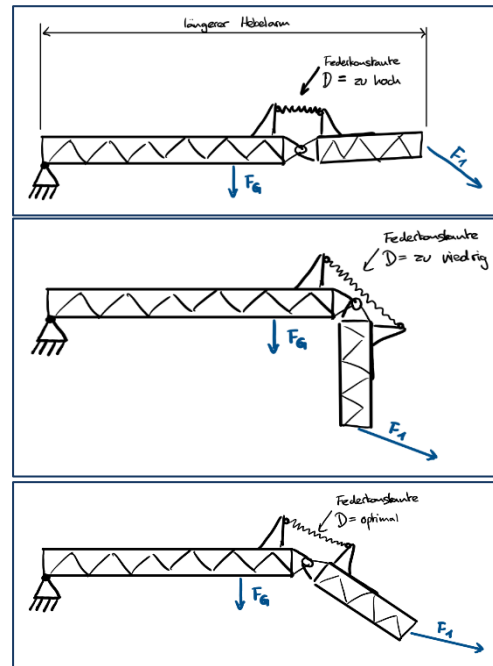


Abbildung 31: Skizze Federkonstante

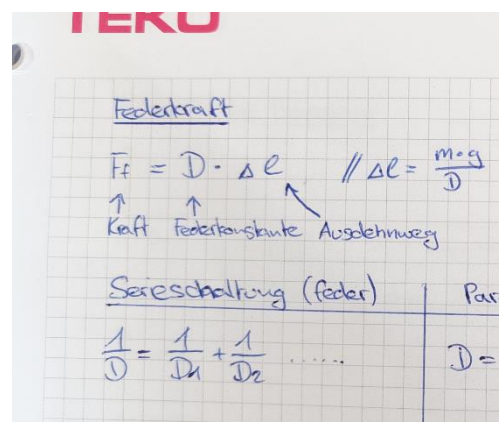


Abbildung 32: Physikzusammenfassung aus damaligem Unterricht

12.1.1 Versuchsaufbau Federkonstante

Um die Federkonstante experimentell ermitteln zu können, benötigen wir gemäss der Formel zwei Grössen. Die Kraft, welche die Feder aufnimmt und die dadurch erzeugte Längenänderung.

Für unseren Test arbeiten wir wieder einmal mit dem, was vorhanden ist. Ein Gabelstapler als Fixpunkt und ein Hebedeckel von einem Futtermischwaagen als Kraftquelle. So können wir die Kraft, welche auf die Feder wirkt, direkt ablesen. Am Anfang waren wir ein bisschen skeptisch, wieviel Kraft wir aufwenden können, ohne die Feder zu beschädigen. Deshalb haben wir uns auf 500kg limitiert. Des Weiteren sind Federn relativ gefährlich, wenn sie unter hohen Spannungen sind und allenfalls etwas reisst.



Abbildung 33: Versuchsaufbau - Federkonstante

Messergebnisse:

Zuggewicht: 500kg

Federlänge ohne Last: 34cm

Federlänge mit Last: 49.5cm

Daraus kann nach Umstellen der Formel die Unbekannte errechnet werden.



Abbildung 34: Messergebnis - Zuggewicht

Berechnung Federkonstante

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

Gegeben:

500kg

$L = 49.5\text{cm}$

$L_0 = 34\text{cm}$

$$\Delta l = l - l_0 = 0.495\text{m} - 0.34\text{m} = 0.155\text{m}$$

Gewichtskraft

$$F = m \cdot g = 500\text{kg} \cdot 9.81\text{m/s}^2 = 4905\text{N}$$

Federkonstante

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

$$D = \frac{F}{\Delta l} = \frac{4905\text{N}}{0.155\text{m}} = 31645\text{N/m}$$

Mit dem errechneten Wert wissen wir jetzt, dass eine Kraft von 31645 Newton erforderlich ist, um die Feder einen Meter auseinanderziehen zu können. Effektiv wird die Längenausdehnung der Feder jedoch wahrscheinlich kleiner ausfallen, da die Kraft geringer sein wird als 31.6 kN.

12.2 Schlauchzugkraft (überschlägig)

Da die Zugkraft am Arm praktisch noch nicht messbar ist, wird sie, wie wir es in der ersten Sitzung mit unserem Diplomcoach besprochen haben, überschlägig abgeschätzt. Im ungünstigsten Fall wird der Schlauch über eine Länge von 500 Metern über den Boden gezogen. Da in den Schulbüchern kein Reibwert für Gummi auf Ackerboden angegeben ist, recherchieren wir im Internet. (Schweizer-fn.de Reibwerte von verschiedenen Materialien) Dort finden wir Werte für den Reibungskoeffizienten im Bereich von 0,1 bis 0,35. Entsprechend ergibt sich eine grosse Spanne bei der Zugkraft. Überschlägig gehen wir davon aus, dass die Belastung am Arm im Bereich von etwa 1.500 Kilogramm liegt.

Die Dichte von Flüssigdünger ist mit 1.000 Kilogramm pro Kubikmeter angegeben. (Bundestag Raumgewicht und Rauminhalt von Wirtschaftsdüngerarten)

Damit lässt sich das Gewicht des gefüllten Schlauchs berechnen.

Berechnung Schlauchvolumen

Der Schlauch besitzt einen Innendurchmesser von 90 Millimetern, woraus sich eine Querschnittsfläche von rund 0,00636 Quadratmetern ergibt. Multipliziert man diese mit der Länge des Schlauchs von 500 Metern, so ergibt sich ein Volumen von 3,18 Kubikmetern. Bei einer Dichte von 1000 Kilogramm pro Kubikmeter entspricht dies einer Flüssigkeitsmasse von 3180 Kilogramm.

Gegeben:

90mm Schlauchinnendurchmesser

$L = 500m$

Fläche des Schlauchquerschnitts

$$A = r^2 \cdot \pi = (0.045m)^2 \cdot \pi = 0.00636m^2$$

Volumenberechnung

$$V = A \cdot l = 0.006361 \cdot 500m = 3.18m^3 = 3180kg$$

Zusätzlich muss das Eigengewicht des Schlauchs berücksichtigt werden. Bei einem Gewicht von 3,65 Kilogramm pro Meter beträgt die Masse für 500 Meter 1825 Kilogramm. Die Gesamtmasse des gefüllten Schlauchs beträgt somit 5005 Kilogramm.

Schlauchgewicht leer

Gegeben

3.65 kg/m

$L = 500m$

$$3.65kg / m \cdot 500m = 1825kg$$

Schlauchgewicht total

$$3180kg + 1825kg = 5005kg$$

Gewichtskraft und Reibungskräfte

Die Gewichtskraft dieses Schlauchs beträgt etwa 49100 N. Die tatsächliche Zugkraft hängt vom Reibungskoeffizienten ab.

Gewichtskraft

$$F_G = m \cdot g = 5005 \cdot 9.81 (m/s)^2 = 49099.5N$$

Unter günstigen Bedingungen mit einem Reibungskoeffizienten von 0,1 beträgt die erforderliche Zugkraft etwa 4,9 kN, was rund 500 kg entspricht. Bei ungünstigen Bedingungen mit einem Reibungskoeffizienten von 0,35 steigt die erforderliche Zugkraft hingegen auf etwa 17,2 kN (rund 1750 kg). Für die weiteren Berechnungen wird ein mittlerer Reibungswert angesetzt, der eine durchschnittliche Zugkraft von 11047 kN (rund 1126kg) ergibt.

Reibungskräfte

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

Mit Minimalwert 0.1

$$F_{R \min} = \mu \cdot F_G = 0.1 \cdot 49099.5 = 4909.9N$$

Mit Maximalwert 0.35

$$F_{R \max} = \mu \cdot F_G = 0.35 \cdot 49099.5 = 17184.6N$$

Mit Mittelwert 0.225

$$F_{R \text{ mittel}} = \mu \cdot F_G = 0.225 \cdot 49099.5 = 11047N$$

Mithilfe der in Excel erstellten Tabelle und der 2D-Skizze in SolidWorks kann die hergeleitete Formel überprüft werden. Dazu stellen wir verschiedene Winkel ein und bestimmen jeweils die Distanz zwischen den Punkten B und C. Ein Vergleich der berechneten Werte mit den in SolidWorks gemessenen Längen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. So ergibt sich beispielsweise bei einem Winkel von $\alpha = 10^\circ$ eine Länge von 702,06 mm und bei $\alpha = 80^\circ$ eine Länge von 948,70 mm.

Winkel α	Distanz B, C
10	702.05985
80	948.70387

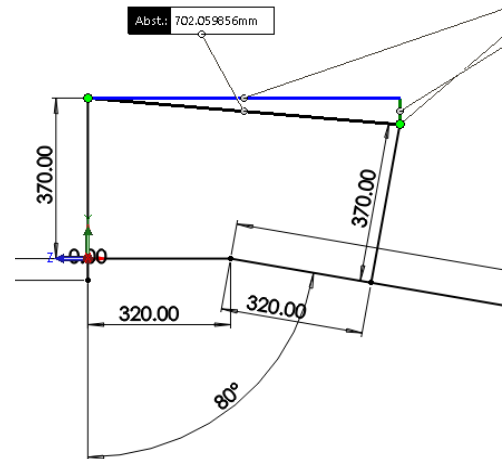


Abbildung 36: Skizze - Winkelannäherung

Um den Winkel zu ermitteln, bei dem sich die äussere Kraft gleichmässig auf Feder und Gelenk verteilt (50/50-Aufteilung), jetzt erstellen wir in Excel eine Tabelle mit 1° -Schritten. Für jeden Winkel berechnen wir die Federkraft und die Gelenkkraft und stellen diese anschliessend als Funktionen in einem Diagramm dar. Der Schnittpunkt dieser beiden Kurven markiert den Gleichgewichtswinkel. Durch die Auswertung wird dieser Schnittpunkt bei einem Winkel von $\alpha = 32,57^\circ$ ermittelt. In dieser Stellung beträgt die Kraft sowohl in der Feder als auch im Gelenk jeweils rund 5750 N. Da das Gelenk zwei Bolzen hat, wirkt sich pro Bolzen eine Scherkraft von 2875 N aus.

Winkel ($^\circ$)	L Feder (mm)	Kraft der Feder (N)	Kraft des Gelenks (N)
0	640	0	11047
1	646.43	203.58	10843.42
2	652.81	405.60	10641.46
3	659.15	606.05	10441.16
4	665.43	804.91	10242.61
5	671.66	1002.17	10045.87
6	677.85	1197.81	9851.02
7	683.98	1391.81	9658.15
8	690.06	1584.17	9467.33
9	696.08	1774.86	9278.64
10	702.05	1963.88	9092.20
11	707.97	2151.20	8908.08
12	713.84	2336.82	8726.39
13	719.65	2520.72	8547.24
14	725.41	2702.88	8370.74
15	731.11	2883.30	8197.00

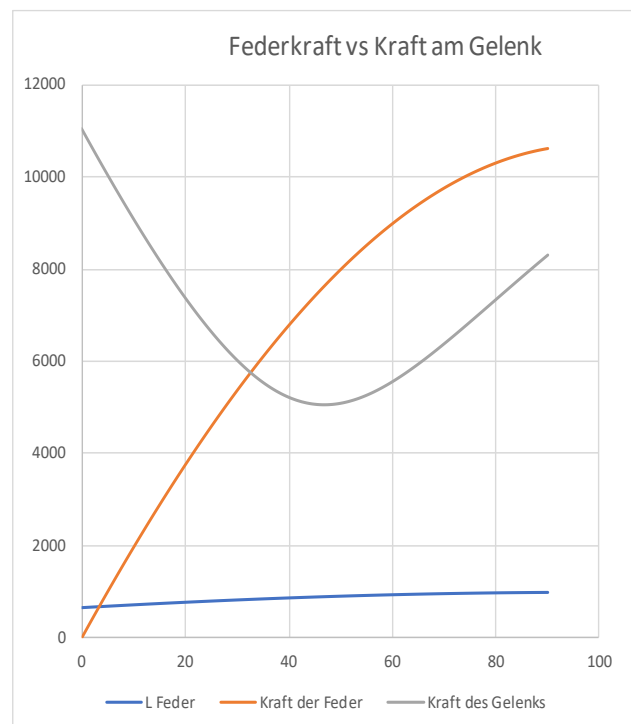


Abbildung 37: Diagramm – berechnete Funktion

12.4 FEM-Analyse - Belastung

Ursprünglich war die FEM-Analyse erst deutlich später eingeplant. Da wir uns bei der mathematischen Annäherung jedoch nicht sicher sind, ob diese korrekt ist, ziehen wir die FEM-Analyse vor. Der Winkel, in dem sich der vordere Arm im maximalen Biegefall befindet, wirkt sich direkt auf alle weiteren Berechnungen aus. Um auf der sicheren Seite zu sein, berechnen wir die Gleichung für äussere Kräfte und Biegemomente zusätzlich für zwei verschiedene Lastfälle.

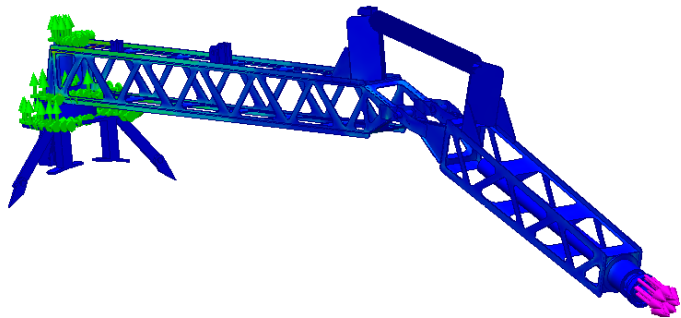


Abbildung 38: FEM-Analyse - Gesamtübersicht

Das FEM-Modell enthält zu Beginn viele kleine Bauteile und Details, die für die Belastung keine wesentliche Rolle spielen. Später entfernen wir Schrauben und andere Kleinteile, um die Rechenzeit zu verringern. Alle Materialien sind im Modell definiert. Da der Grossteil der Bauteile ohnehin aus S235-Stahl gefertigt werden sollte, ist das unkompliziert, weil die nötigen Kennwerte wie Elastizitätsmodul, Streckgrenze und Dichte bereits in der SolidWorks-Datenbank hinterlegt sind.

Im nächsten Schritt versehen wir das Modell mit einem Netz. Wir definieren die Netzgrösse, welche eine kurze Rechenzeit von etwa fünf Minuten pro Simulation in Anspruch nimmt, ohne die Genauigkeit wesentlich zu beeinträchtigen. Die Randbedingungen legen wir so fest, dass die Bauteile an den vorgesehenen Flächen eingespannt sind. Die Belastung bringen wir über die Storz-Verbindung ein. Hierbei ist vor allem der Winkel entscheidend, unter dem die Last wirkt, da dieser die Biegemomente und somit die Lagerbelastung massgeblich beeinflusst.

Um die Lagerung möglichst realitätsnah darzustellen, integrieren wir die zuvor berechnete Federkonstante zusätzlich in das Modell. Die Kontakte zwischen den Bauteilen sind entsprechend ihrer Funktion definiert: Starre Verbindungen bleiben fest miteinander verbunden, während an anderen Stellen keine Relativbewegung zugelassen wird.

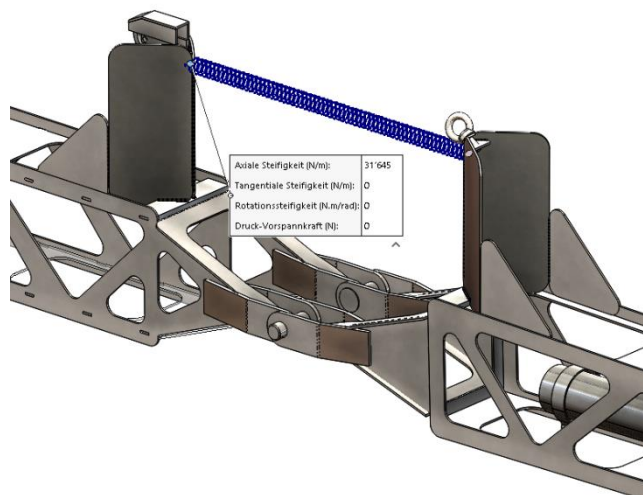


Abbildung 39: FEM-Analyse - Federdefinition

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt über Spannungsverteilungen, Verschiebungen und Sicherheitsfaktoren. Dabei zeigt sich, dass das Gesamtsystem sehr robust ausgelegt ist und in vielen Bereichen deutlich überdimensioniert wirkt. Auffällig ist lediglich der Bereich der Einspannung, in dem an den Kanten Spannungsspitzen entstehen. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass wir die Schweissnähte im Modell nicht detailliert nachgebildet haben. In der realen Ausführung sind an diesen Stellen jedoch mindestens 5 mm Kehlnahtschweißungen vorgesehen, welche die Kräfte grossflächig einleiten und die Spannungsspitzen somit deutlich reduzieren. Selbst im rechnerisch ungünstigsten Fall ergibt sich ein Sicherheitsfaktor von 1,3, sodass wir hier keine kritische Schwachstelle sehen.

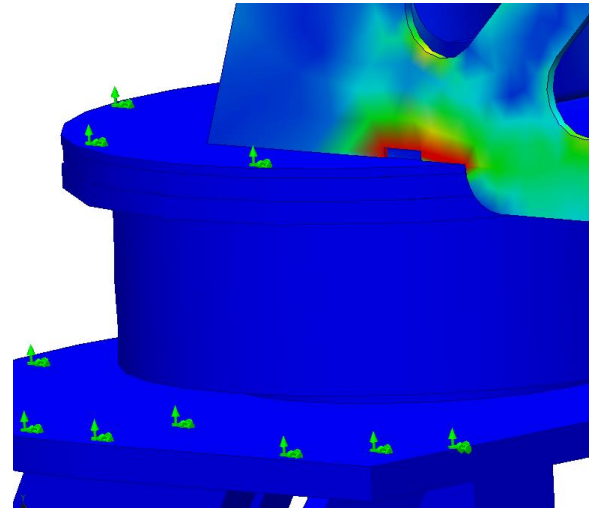


Abbildung 40: FEM-Analyse - kritische Spannung

Rechnerisch ergibt sich im oberen Kapitel ein Winkel von $32,57^\circ$. Dieser Wert dient uns als Ausgangspunkt und gibt bereits eine gute Vorstellung davon, wo das Maximum des Winkels ungefähr zu erwarten ist. Um das Ergebnis abzusichern, untersuchen wir denselben Lastfall anschliessend in der FEM-Analyse. Dabei zeigt sich, dass die maximale Belastung bei einer Kraft von 11.047 N bei einem Winkel von $32,14^\circ$ auftritt. Der Unterschied zwischen Handrechnung und Simulation beträgt somit nur wenige Zehntelgrade und liegt damit im Bereich der üblichen Abweichungen durch Annahmen und Vereinfachungen. Für uns ist das ein sehr gutes Zeichen. Die FEM bestätigt unsere theoretischen Überlegungen und zeigt, dass wir mit unserem Ansatz auf dem richtigen Weg sind.

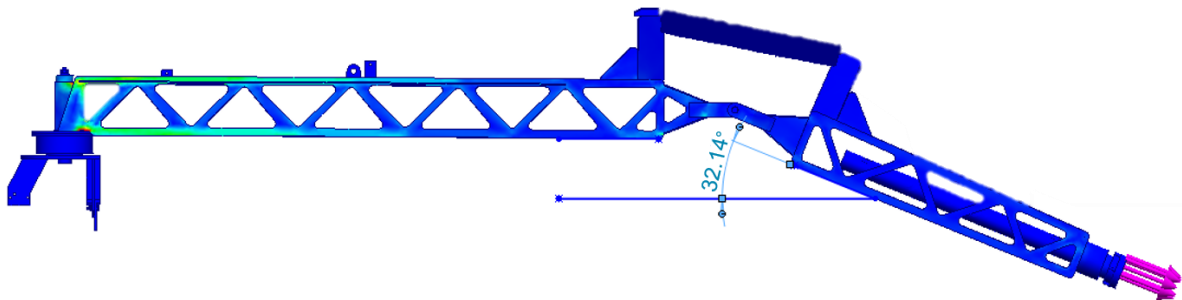
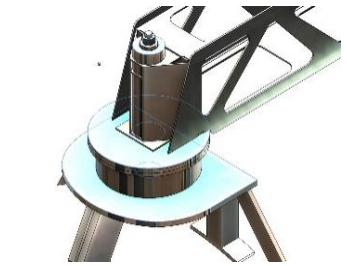
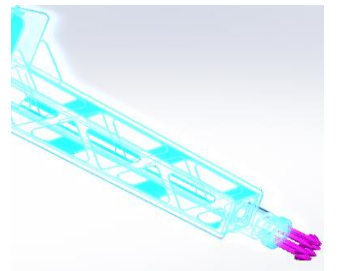
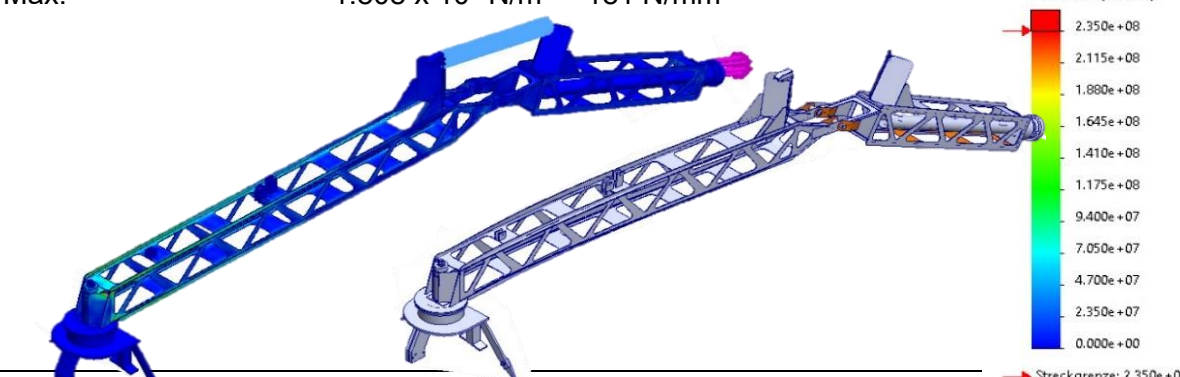


Abbildung 41: FEM-Analyse - Winkelberechnung

12.5 FEM-Daten

Modellreferenz	Eigenschaften			
	Werkstoff:	1.0114 (S235J0)		
	Modelltyp:	Linear elastisch isotrop		
	Fliessgrenze:	2.35e+08 N/m²		
	Zugfestigkeit:	3.6e+08 N/m²		
	Elastizitätsmodul:	2.1e+11 N/m²		
	Massendichte:	7'800 kg/m³		
	Schubmodul:	7.9e+10 N/m²		
Einspannungsbild	Einspannungsdetails			
	Elemente:	3-wertiges Lager		
	Typ:	Fixierte Geometrie		
		Resultierende Kräfte:		
	Komponenten	X	Y	Z
	Reaktionskraft (N)	-0.02	4084	10263
$F_{RES} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$		F resultierend: 11046N		
Bild Lastaufnahme	Lastdetails			
	Elemente:	1 Fläche		
	Typ:	Normalkraft anwenden		
	Wert:	- 11047 N		
Bild Verbindungen	Verbindungsdetails			
	Elemente:	2 Eckpunkte		
	Typ:	Feder (nur Zug)		
	Axiale Steifigkeit:	31645 N/m		
	Tangentiale Steifigkeit:	0 N/m		
	Rotationssteifigkeit:	0 N/m		
Netzdetails	Netzeinstellungen			
	Vernetzungstyp	Gemischtes Netz		
	Min. Elementgrösse:	5.4mm		
	Max. Elementgrösse:	109mm		
	Netzqualität:	Hoch		
	Rotationssteifigkeit:	0 N/m		
	Knotenanzahl:	126420 Pkt.		
	Computer Name:	TERRA JD		
	Dauer bis Beendigung:	1h 23min 13s		
Spannungen im Bauteil				
Max.	1.808 x 10 ⁸ N/m² = 181 N/mm²			
				

12.6 Gewicht

Zur Ermittlung des zusätzlichen Gewichts der neu hinzukommenden Baugruppe werten wir in SolidWorks die Masseneigenschaften aus. Sämtliche Bauteile sind als Volumenkörper modelliert, dies ermöglicht mit dem Angeben der Materialeigenschaften das Gesamtgewicht einfach auszurechnen. Lager- und Federbauteile werden gewogen, sodass das genaue Gewicht für die Berechnung genutzt werden kann.

Gesamtgewicht des Auslegers

Ergebnisse nach Bauteil

- Arm lang: 76,5kg (35,9%)
- Arm kurz: 44,9kg (21.1%)
- Lagerbock: 50.8kg (23.8%)
- Lager: 21,8kg (10,2%)
- PVC-Schlauch: 3,5kg (1,6%)
- Feder: 12,3kg (5,8%)
- Transportstellungshalter: 3,2kg (1,5%)

Total sind es somit 213 Kilogramm, was aber noch nicht darin enthalten ist, sind die Beschichtungen, Schweissnähte und die Verbindungselemente. Dies kann zu einem Aufschlag von 1-5% kommen was zu einem Gewicht von ca. 215-220 Kilogramm führen wird. Zu einem späteren Zeitpunkt wird die gesamte Konstruktion gewogen und mit dem errechneten Gewicht verglichen.

Gewichtskraft

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKÖ)

$$F_G = m \cdot g = 213\text{Kg} \cdot 9.81\text{m} / \text{s}^2 = 2089.53\text{N}$$

12.7 Auflagerreaktion

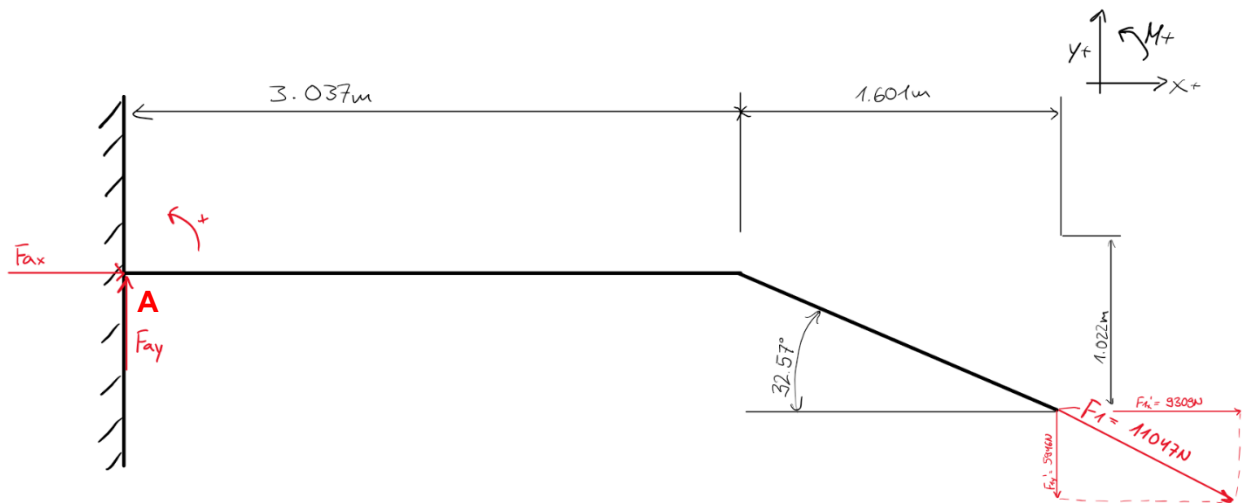


Abbildung 42: Handskizze - Auflagerreaktion

Kräftezerlegung in X und Y Komponente

$$GK = H \cdot \sin(\alpha) \Rightarrow 11047 \cdot \sin(32.57^\circ) = F_{1y} 5946.9N$$

$$AK = H \cdot \cos(\alpha) \Rightarrow 11047 \cdot \cos(32.57^\circ) = F_{1x} 9309.7N$$

Momenten-Gleichungen

$$I \sum Fx = 0 = Fax - F_{1x}' \Rightarrow Fax = -9309.7N$$

$$II \sum Fy = 0 = Fay - F_{1y}' \Rightarrow Fay = 5946.9N$$

$$III \sum_A M = 0 = MB + (-F_{1y}' \cdot 4.638m) + (+F_{1x}' \cdot 1.0223m)$$

Aus Formel III

$$\text{solve } (0 = x + -5946.9N \cdot 4.638m + 9309.7N \cdot 1.0223m, x) = 18067.2 N/m$$

Somit können wir die Kräfte am Lagerpunkt A bestimmen, um die weiterfolgenden Berechnungen durchführen zu können.

12.8 Pendelrollenlager - Nachweis

Wir wissen, dass das Lager, welches wir gewählt haben, zu gross ist. Wir rechnen das mindestens erforderliche Lager aus.

Wirkende Kraft

(Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung)

2.65 Y0 gewählt aus dem Tabellenbuch

$$P_0 = X_0 \cdot F_{r_0} + Y_0 \cdot F_{a_0} \Rightarrow 8036.5N \cdot 1 + 9309.7N \cdot 2.65 = 32707.25N$$

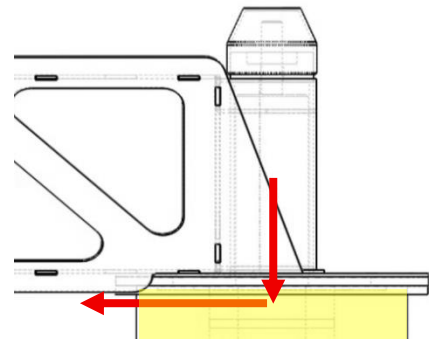


Abbildung 43: Übersicht Pendelrollenlager

Statische Tragzahl

(Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung)

2 gewählt (Stark Stossbelastet, nicht umlaufende Rollenlager)

$$C_0 \text{erf} \geq P_0 \cdot S_0 \Rightarrow 32707.25N \cdot 2 = 65414.41N$$

Sicherheitsfaktor

(Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung)

$$SF = \frac{C_0 \text{erforderlich}}{C} = \frac{1120kN}{65.4kN} = 17.12$$

Somit entsteht ein Sicherheitsfaktor des vorhandenen Lagers von 17,12.

Ausgelesene Werte

(Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch)

Pendelrollenlager	Kegeliger Bohrung
Lagerreihe	223
Massreihe	23
Bohrungskennzahl	24
C ausgelesen	1080kN

12.9 Axial-Rillenkugellager - Nachweis

Da die Lagerkraft durch die aufgeschraubte Mutter erzeugt wird, muss zunächst das dafür angesetzte Anziehdrehmoment der M20-Mutter definiert werden. Die Mutter in dieser Konstruktion dient lediglich als Sicherung, deshalb wird kein maximales Drehmoment ermittelt, sondern ein praxisüblicher Erfahrungswert herangezogen. Zum Vergleich: Bei einer Motorrad-Hinterachse mit M20-Mutter wird typischerweise ein Anziehdrehmoment von etwa 80 Nm verwendet.

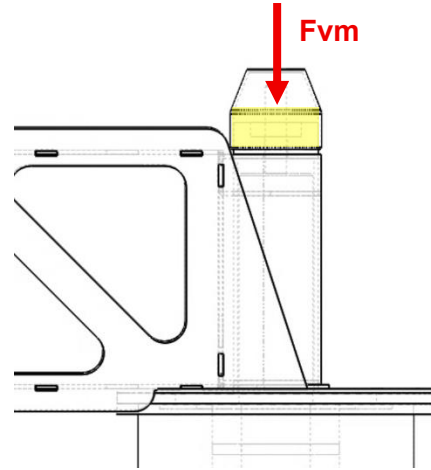


Abbildung 44: Übersicht Axial-Rillenkugellager

Mit diesem Wert lässt sich die resultierende Axialkraft berechnen, die den unteren Lagerring nach unten presst. Diese Kraft verhindert, dass der Arm aus dem unteren Lager herausrutschen kann. Zur Berechnung wurde, die in der Formelsammlung unter Formel 28 angegebene Beziehung für das Anziehdrehmoment einer Schraubenverbindung verwendet.

Kraft im Vorspannsystem

Anziehdrehmoment, allgemein

(Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung)

$$M_a = F_{vm} \cdot \left[\frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \rho') + \mu_k \cdot 0.65 \cdot d \right]$$

Reibwinkel

(Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung)

$$\rho' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu G}{\cos(\alpha)} \right) \Rightarrow \tan^{-1} \left(\frac{0.12}{\cos(30^\circ)} \right) \Rightarrow 7.89^\circ$$

Steigungswinkel des Schraubengewindes

(Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung)

$$\varphi = \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2} \right) \Rightarrow \tan^{-1} \left(\frac{2.5mm}{\pi \cdot 18.376mm} \right) \Rightarrow 2.48^\circ$$

Montagevorspannkraft

(Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung)

$$F_{vm} = \frac{MA}{\frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \rho') + \mu_k \cdot 0.65 \cdot d} \Rightarrow \frac{80Nm}{\frac{0.018376m}{2} \cdot \tan(2.48^\circ + 7.89^\circ) + 0.12 \cdot (0.65 \cdot 0.02m)} = 24681.142N$$

Statische Tragzahl

(Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung)

1 gewählt für Normalbelastung

$$C_0 \text{erf} \geq P_0 \cdot S_0 \Rightarrow 24681N \cdot 1 = 24681N$$

Ausgelesene Werte

(Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch)

Rillenkugellager	einseitig wirkend
Lagerart	Axial
Lagerreihe	511
Massreihe	11
Bohrungskennzahl	4
C0 ausgelesen	26.5kN

Sicherheitsfaktor

$$SF = \frac{C_0 \text{erforderlich}}{C} = \frac{26.5kN}{24.68kN} = 1.07$$

Daraus ergibt sich für das vorhandene Axial-Rillenkugellager ein Sicherheitsfaktor von 1,07.

Wird die Mutter mit einem kleineren Drehmoment als 80 Nm angezogen, erhöht sich der Sicherheitsfaktor entsprechend.

12.10 Schrauben am Lagerbock - Nachweis

Um die maximale Kraft in der Schraube zu bestimmen, werden sowohl die Querkraft als auch die Gewichtskraft berücksichtigt. Da die Berechnung von Flächenlasten im Unterricht nicht behandelt wurde, wird zur konservativen Abschätzung der ungünstigste Fall angenommen. Dabei wird die gesamte Gewichtskraft am vorderen Ende des Arms angesetzt. Mit diesem Vorgehen wird sichergestellt, dass die Berechnung auf der sicheren Seite liegt.

Drehmoment am Hebelarm

$$\text{solve}(0 = x + -8036.5N \cdot 4.638m + 9309.7N \cdot 1.0223m, x) = 27758.31 \text{ N/m}$$

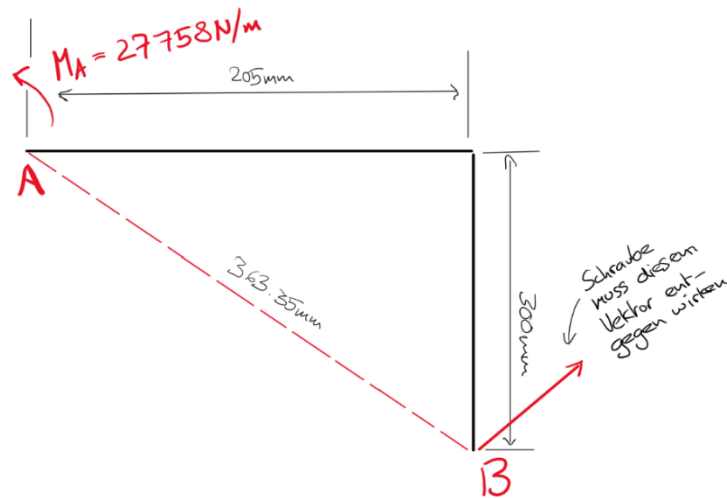


Abbildung 45: Handskizze Querbelastung

Querbelastung der Schraubverbindung

$$27758 \text{ N/m} \cdot 0.363 \text{ m} = 10085.9 \text{ N}$$

Mit diesem Wert kann nun die Schraubenberechnung durchgeführt werden.

Gegeben:

$F_Q \text{ gesamt} = 10086 \text{ N}$

$F_Q \text{ pro Schraube} = 5043 \text{ N}$

2x M12 x 70mm

Festigkeitsklasse = 10.9

Anziehfaktor $k_A = 2$ (angenommen)

Haftreibungszahl = $0.07 \mu T$

Rautiefe der Oberfläche $R_z = 10 \dots < 40 \mu m$

Schlüsselweite $d_w = 18 \text{ mm}$

Durchgangslochgrösse $d_h = 13.5 \text{ mm}$ (mittlere Ausführung)

Durchmesser der verspannten Hülse = 50 mm

Einklemmlänge $l_k = 51 \text{ mm}$

Elastizitätsmodul $E_T = 210000 \text{ N/mm}^2$

Schaftlänge $l_i = 40 \text{ mm}$

Nicht eingeschraubter Gewindeteil $l_{ko} = 11 \text{ mm}$

Eingeschraubter Gewindeteil $l_{ge} = 0.5 \cdot d = 6 \text{ mm}$

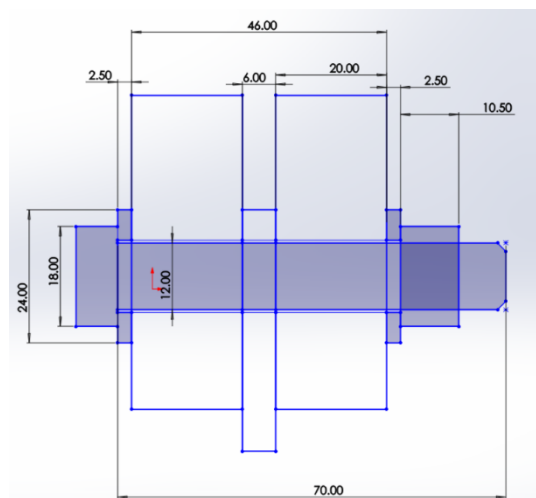


Abbildung 46: Schnittbild - Schraubverbindung

Da sich die Montagevorspannkraft aus mehreren voneinander abhängigen Formeln zusammensetzt, werden zunächst alle relevanten Gleichungen in allgemeiner Form (ohne eingesetzte Zahlenwerte) aufgestellt und die Zusammenhänge dargestellt. Anschliessend erfolgt die Berechnung Schritt für Schritt in umgekehrter Reihenfolge, sodass aus den gegebenen Grössen alle benötigten Zwischenwerte ermittelt werden können. So lässt sich am Ende die erforderliche Vorspannkraft bestimmen. Mithilfe des Ergebnisses kann anschliessend überprüft werden, ob zwei M12-Schrauben für die vorliegende Konstruktion ausreichend dimensioniert sind.

Montagevorspannkraft

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

$$F_{vm} = kA \cdot (F_{k1} + F_z)$$

Setzkraft Fz

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

$$F_z = \frac{fz}{\Delta S + \Delta T}$$

Nachgiebigkeit des Bauteils ΔT

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

$$\Delta T = \frac{lk}{A_{ers} \cdot ET}$$

Querschnittersatzfläche A_{ers}

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

$$A_{ers} = \frac{\pi}{4} \cdot (dw^2 - dh^2) + \frac{\pi}{8} \cdot dw \cdot (DA - dw) \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{lk \cdot dw}{DA^2}} + 1 \right)^2 - 1$$

Nachgiebigkeit der Schraube ΔS

(Handschriftliche Zusammenfassungen Unterricht TEKO)

$$\Delta S = \frac{1}{Es} \cdot \left(\frac{l_{ko}}{A_N} + \frac{l_i}{A_N} + \frac{l_{ko}}{A_3} + \frac{l_{ge}}{A_3} \right) + \frac{l_m}{Em \cdot A_N}$$

$$A_N = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Querschnittersatzfläche A_{ers} (eingesetzte Werte)

Schlüsselweite $dw = 18\text{mm}$

Durchgangslochgrösse $dh = 13.5\text{mm}$ (mittlere Ausführung)

Durchmesser der verspannten Hülse = 50mm

Einklemmlänge $lk = 51\text{mm}$

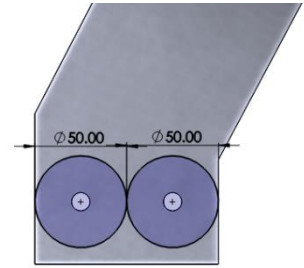


Abbildung 47: CAD-Ansicht - verspannte Hülse

$$\frac{\pi}{4} \cdot (18\text{mm}^2 - 13.5\text{mm}^2) + \frac{\pi}{8} \cdot 18\text{mm} \cdot (50\text{mm} - 18\text{mm}) \cdot \left(\left(\sqrt[3]{\frac{51\text{mm} \cdot 18\text{mm}}{50\text{mm}^2}} + 1 \right)^2 - 1 \right)$$

$$A_{ers} = 551.27\text{mm}^2$$

Nachgiebigkeit des Bauteils ΔT (eingesetzte Werte)

Elastizitätsmodul $ET = 210000\text{ N/mm}^2$

Einklemmlänge $lk = 51\text{mm}$

$$\Delta T = \frac{51\text{mm}}{551.27\text{mm}^2 \cdot 210000\text{N/mm}^2} = 0.00000044 \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

Nachgiebigkeit der Schraube ΔS

Elastizitätsmodul $ET = 210000\text{ N/mm}^2$

Zuschlag $L_{ko} = 0.5 \cdot d = 6\text{mm}$

Schaftlänge $l_i = 40\text{mm}$

Nicht eingeschraubter Gewindeteil $l_{ko} = 11\text{mm}$

Eingeschraubter Gewindeteil $l_{ge} = 0.5 \cdot d = 6\text{mm}$

Zuschlag Schraubenmutter $l_m = 0.4 \cdot d = 4.8\text{mm}$

Querschnitt $A_3 = 76.25\text{mm}^2$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{210000\text{N/mm}^2} \cdot \left(\frac{6\text{mm}}{\frac{\pi \cdot 12\text{mm}^2}{4}} + \frac{40\text{mm}}{\frac{\pi \cdot 12\text{mm}^2}{4}} + \frac{11\text{mm}}{76.25\text{mm}^2} + \frac{6\text{mm}}{76.25\text{mm}^2} \right) \\ & + \frac{4.8\text{mm}}{210000\text{N/mm}^2 \cdot \frac{\pi \cdot 12\text{mm}^2}{4}} \\ & \Delta S = 0.00000032 \frac{\text{mm}}{\text{N}} \end{aligned}$$

Setzkraft Fz

$$F_z = \frac{0.017mm}{0.0000032 \frac{mm}{N} + 0.00000044 \frac{mm}{N}} = 4670.3 N$$

Montagevorspannkraft

$$F_{vm} = 2.0 \cdot (5.043kN + 4.670kN) = 19.426kN$$

Montagevorspannkraft vergleich

(Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch)

$$F_{vm} < F_{sp} = 19.426kN < 63.3kN$$

Sicherheitsfaktor

(Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung)

$$SF = \frac{F_{vm}}{F_{sp}} = \frac{19.426kN}{63.3N} = 3.26$$

Mithilfe der Berechnungen kann die erforderliche Montagevorspannkraft ermittelt und mit den zulässigen Werten (Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch) verglichen werden. Dabei zeigt sich, dass die benötigte Vorspannkraft deutlich unterhalb der maximal zulässigen Vorspannkraft einer M12-Schraube liegt. Der resultierende Sicherheitsfaktor beträgt rund 3,3, was einer Auslastung der Schraube von lediglich etwa 31 Prozent entspricht.

Somit ist nachgewiesen, dass zwei M12-Schrauben für die vorliegende Konstruktion mehr als ausreichend dimensioniert sind und die geforderte Sicherheit gewährleisten. Rein rechnerisch würde sogar eine einzelne M12-Schraube die notwendige Vorspannkraft mit deutlicher Reserve aufnehmen können. Durch den Einsatz von zwei Schrauben wird jedoch eine bessere Lastverteilung sowie ein zusätzlicher Sicherheitsgewinn erreicht. Dadurch erhöhen sich die Betriebssicherheit und die Lebensdauer der Verbindung weiter.

12.11 Finales CAD

Das finale CAD-Modell zeigt die ausgearbeitete Konstruktion des Auslegers in seiner endgültigen Form. Nach Abschluss der Berechnungen, Simulationen und Nachweise steht fest, dass keine Änderungen mehr erforderlich sind. Alle Baugruppen passen stimmig zusammen und erfüllen die gestellten Anforderungen.

Die Schraubenverbindungen wurden auf Vorspannkraft überprüft. Mit einem Sicherheitsfaktor von rund 3 liegen sie deutlich unterhalb ihrer maximalen Belastbarkeit und bieten somit ausreichende Reserven. Auch die Lagerstellen sind für die auftretenden Kräfte mehr als ausreichend dimensioniert. Zusätzlich bestätigen die FEM-Analysen, dass die auftretenden Spannungen weit unterhalb der Streckgrenze des gewählten Materials bleiben.

Einige Bauteile erscheinen auf den ersten Blick überdimensioniert. Dies ist einerseits auf die Wiederverwendung vorhandener Komponenten zurückzuführen. Andererseits darauf, die bewusste Entscheidung, die Konstruktion robust ausulegen. Gerade im landwirtschaftlichen Einsatz ist dies von Vorteil, da Schläge, Vibrationen und wechselnde Lasten nicht exakt berechenbar sind und zusätzliche Sicherheitsreserven die Zuverlässigkeit erhöhen.

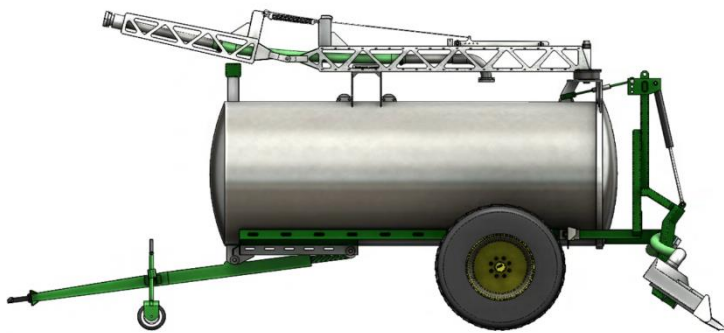


Abbildung 48: CAD - Transportposition

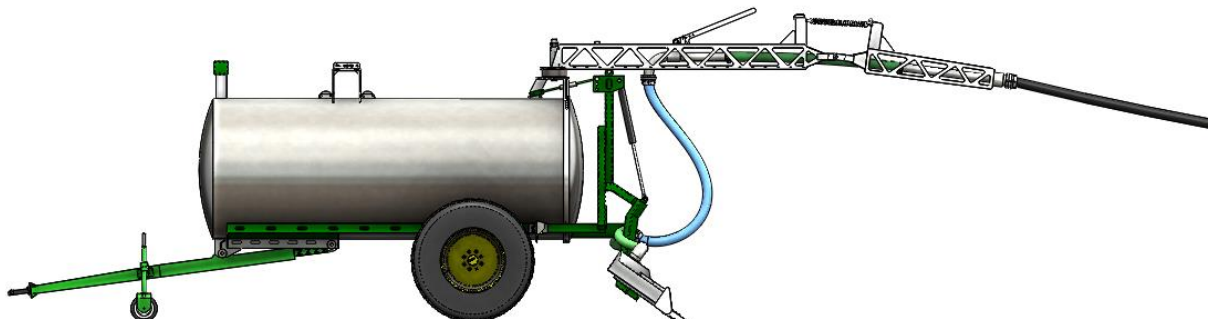


Abbildung 49: CAD - Arbeitsposition

13 Fertigung

13.1 Vorhandenes Teil abändern

Bereits zu Beginn der Fertigung passen wir das vorhandene Bauteil an unsere Anforderungen an. Die ursprüngliche Aufnahme des Arms ist für eine Schwenkbewegung in horizontaler Richtung ausgelegt. Da diese für unseren Einsatzzweck jedoch vertikal ausgerichtet sein muss, trennt Marius den vorderen Abschnitt des Bauteils ab, richtet ihn neu aus und dreht ihn um 90 Grad. So stellen wir bereits im ersten Arbeitsschritt sicher, dass das Bauteil für die weitere Konstruktion geeignet ist.

13.2 Lasern

Da wir alle Teile im CAD genau gezeichnet hatten, haben wir in der Fertigung klare Vorteile. Für den zweiten Arm und den Lagerbock können wir die DXF-Dateien direkt aus dem Programm exportieren. Marius nutzt diese Dateien an seiner Arbeitsstelle, um die Teile mit dem Laser zu schneiden. Die reine Schneidezeit für alle Bauteile liegt bei ungefähr einer Stunde. Dazu kommen noch die üblichen Rüstzeiten. Dies beinhaltet das Einrichten der Maschine, auflegen des Materials und das Verräumen von Reststücken nach dem Schneiden. Insgesamt ergibt sich so eine Arbeitszeit von etwa drei Stunden.

Verwendet wird dafür eine TruLaser 1030 von Trumpf. Mit dieser Maschine lassen sich Stahlbleche bis 15 mm Dicke sowie Chromstahl und Aluminium bis 8 mm schneiden. Der Arbeitsbereich ist auf 1,5 m × 3 m begrenzt, was auch die maximale Länge des grossen Arms vorgibt.



Abbildung 50: Lasermaschine Trumpf

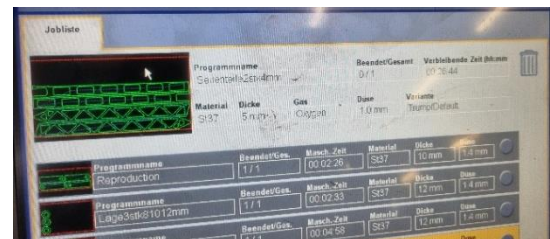


Abbildung 51: HMI-Lasermaschine



Abbildung 52: Bildergalerie Laserarbeiten

13.3 Abkanten

Die Flansche, an denen die beiden Arme später mit Bolzen verbunden werden, müssen vor der Montage abgekantet werden. Marius hat an seiner Arbeitsstelle die passende Abkantpresse von Bystronic für diesen Arbeitsschritt zur Verfügung. Die Maschine hat eine Presskraft von 1.500 kN und eine Arbeitslänge von 3,1 Metern. Damit lassen sich auch grössere Teile zuverlässig und sauber biegen.

Die Vorbereitung läuft direkt aus dem CAD heraus. Über die Bystronic-Software BySoft werden die Bauteile eingelesen und die Maschine schlägt automatisch die passenden Werkzeuge vor. Zudem fährt sie die Anschläge auf die richtige Position. Dadurch geht das Einrichten schneller, und die Wiederholgenauigkeit ist sehr hoch.

Neben den Flanschen muss auch das obere und das untere Blech des langen Arms abgekantet werden. Beide werden dabei um $158,5^\circ$ gebogen. Dieser Winkel muss exakt eingehalten werden, damit die Bauteile später spannungsfrei zusammengefügt werden können. Die Abkantpresse gleicht die Rückfederung des Materials automatisch aus, sodass die Teile direkt im richtigen Mass vorliegen und keine Nacharbeit erforderlich ist.

13.4 Lagerbock

Der Lagerbock ist das massivste Bauteil der gesamten Konstruktion. Er verbindet alle Teile miteinander und wird am Fass befestigt. Entsprechend haben wir ihn bewusst überdimensioniert ausgelegt, um genügend Stabilität zu gewährleisten. Die beiden Flansche vorne, welche die gesamte Hebelkraft aufnehmen und in das Fass einleiten, bestehen aus 20 mm starkem Stahl. Wie auf dem CAD-Bild zu erkennen ist, mussten diese Bauteile mit dem Winkelschleifer zugeschnitten werden, da sie sich nicht mit der Laseranlage fertigen liessen.

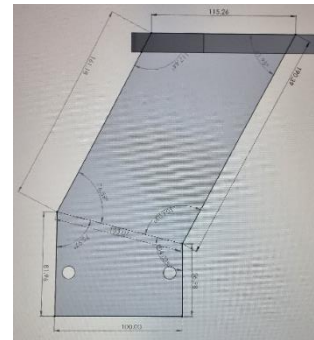


Abbildung 53: Masse Lagerbock

Die Tischplatte des Lagerbocks besteht aus 15 mm starkem Stahlblech und wurde mit dem TruLaser 1030 gelasert. Gleichzeitig ist dies die maximale Materialdicke, die mit dieser Maschine geschnitten werden kann. Als Welle verwenden wir eine 50 mm starke Stahlwelle aus dem Lager von Marius, die dort bereits seit mehreren Jahren lag. In die 15 mm starke Platte wird mittig ein Loch gelasert, sodass die Welle hindurchgeführt und rundum verschweisst werden kann. Dadurch erhöht sich die Festigkeit der Verbindung und die Welle muss nicht gekürzt werden.



Abbildung 54: Hauptwelle

Um den Bock im vorderen Bereich am Fass zu befestigen, erstellen wir zwei Anschraubplatten. Diese sind im Radius an den Fasskörper angepasst, sodass sie exakt auf dem Ring aufliegen, an dem sie verschraubt werden. Der gesamte Zusammenbau des Bocks erfolgt direkt am Fass, um die Passgenauigkeit zu gewährleisten und um die Bohrungen präzise vom Fass auf die Platten zu übertragen.

Die Aufnahme der Seitenkräfte wird in einem späteren Arbeitsschritt ergänzt, da sie für den weiteren Aufbau zunächst nicht entscheidend ist. Auf dem Bild sind die Lageradapterplatten sowie die Auflageplatte zu sehen, auf der das Lager montiert wird. Sämtliche Teile werden im MAG-Verfahren vollständig verschweisst. Abschliessend wird noch eine M20-Schraube auf die Welle aufgeschweisst, die gemeinsam mit dem Axial-Kugellager die gesamte Konstruktion nach unten fixiert.



Abbildung 55: Bildergalerie Lagerbock

13.5 Zusammenbau Armverlängerung

Ein grosser Vorteil unserer Konstruktion wird bereits auf dem ersten Bild deutlich: Die Baugruppe hält von selbst zusammen, ohne dass Heftstellen oder Schraubzwingen erforderlich sind. Das liegt daran, dass wir ein Schlitz-/Noppensystem verwendet haben. Im nächsten Schritt werden zunächst alle Teile angeheftet. Zum Beispiel auch das Hinterteil mit dem Führungsrohr. Das Blech wird aus einem Stück gelasert und abgekantert, sodass das Rohr nur noch durchgesteckt werden muss und direkt im korrekten Winkel zum Blech sitzt. Diese Genauigkeit ist entscheidend, da die gesamte Konstruktion sonst schief verlaufen würde.

Als Auflagefläche für den weiteren Aufbau verwendet Marius zwei stabile Stahlböcke aus seiner alten Werkstatt. Sie bieten eine gute Basis, um auch grössere Teile sicher auszurichten und zu verschweissen. Nachdem alle Bauteile positioniert und geheftet sind, beginnt das Abschweissen. Dabei ist es wichtig, die richtige Schweissreihenfolge einzuhalten, um Verzug zu vermeiden. Zuerst werden Nähte mit geringem Wärmeeinfluss wie zum Beispiel Ecknähte oder Schlitz-/Noppennähte geschweisst. Anschliessend folgen die Kehlnähte, die den grössten Einfluss auf die



Abbildung 56: Fertigung Armverlängerung

Konstruktion haben. Um Spannungen auszugleichen, wird nach jeder Kehlnaht sofort die Gegenseite geschweisst. So lässt sich ein späteres Richten vermeiden.

Zur Kontrolle der Passgenauigkeit wird die komplette Baugruppe, die aus Arm und Lagerbock besteht, auf dem Fass montiert. Bereits bei den ersten Tests zeigt sich, dass die Konstruktion stabil ist. Selbst unter Belastung bleibt sie parallel zum Güllefass stehen. Auf den Bildern ist auch gut zu erkennen, wie der Arm mit seitlichen Schweißnähten verbunden ist. Etwa alle 130 mm befindet sich eine 20 mm lange Naht, sodass der Arm wie ein durchgehender Träger wirkt.

Im nächsten Schritt „verheiraten“ wir die beiden Arme, wie es im Metallbau genannt wird, wenn zwei Einzelteile dauerhaft miteinander verbunden werden. Die Bolzen halten die Konstruktion zusammen, während die aus Restmaterial gefertigten Verstärkungsteile aufgeschweisst werden. Damit auch die Feder sicher befestigt werden kann, setzen wir im oberen Bereich M12-Ringschrauben ein. Dazu schweißen wir M12-Muttern hinter die Bleche, sodass die Schrauben durchgesteckt und fest angezogen werden können.

Beim ersten Testlauf befestigen wir zusätzlich eine Kette, damit die Feder nicht überstreckt werden kann. Das hintere Ende des Arms ist nun vollständig verschweisst, inklusive der Bohrung für die M20-Schraube. Darauf werden später drei Scheiben mit dem Aussendurchmesser des Lagers montiert, die ein Verrutschen verhindern. Ausserdem kann so der Schutzdeckel gegen Wasser problemlos aufgesetzt werden.



Abbildung 57: Schweißen Armverlängerung



Abbildung 58: Fertigung Wellenrohr



Abbildung 59: Bildergalerie Allgemeine Fertigung

13.6 Erster Test

Für den ersten provisorischen Test ist die Feder noch zu stark eingestellt. Dies fällt uns schnell auf. Zu diesem Zeitpunkt fehlen auch die Schlauchführung und der Transportbock. Trotzdem funktioniert die Konstruktion und die erste Gülle kann ausgebracht werden. Auf dem zweiten Foto ist deutlich zu erkennen, dass die Feder zu stark gespannt ist: Der Schlauch knickt fast ab, da noch nicht genügend Zug vorhanden ist.

In diesem Test prüfen wir ausserdem die erste Transportstellung. Dadurch können wir den Transportbock später präzise ausmessen. Mit rein theoretischen Massen wäre dies schwierig, da schon kleine Abweichungen bei der Gesamtlänge grosse Auswirkungen auf die Höhe hätten.



Abbildung 60: Armverlängerung Testmontage



Abbildung 61: Testmontage Gesamtsystem



Abbildung 62: Bildergalerie erste Testfahrt



13.7 Gülle Rohr im Ausleger

Im vorhandenen Arm ist bereits ein Rohr eingeschweisst, das wir unverändert übernehmen können. Bei unserer Neukonstruktion sieht die Situation hingegen anders aus: Hier müssen wir das gesamte Rohrsystem neu aufbauen. Den 90° Bogen fertigt Marius selbst. Dazu zeichnen wir den Bogen zunächst in SolidWorks und drucken anschliessend einen Plan mit den exakten Winkelangaben aus. Mithilfe dieser Daten schneiden wir die einzelnen Segmente mit der Bügelsäge zu und schweissen sie anschliessend zusammen. Der fertige 90°-Bogen mit Halterung ist auf dem nächsten Bild zu sehen.



Abbildung 63: Fertigung Bogen

Wir entscheiden uns ausserdem dafür, einen Zwischenflansch einzubauen. Dadurch kann der Teil mit dem Gewinde separat mit Korrosionsschutzfarbe beschichtet werden. Auf dieses Gewinde wird später der Storz-Anschluss aufgeschraubt. Anschliessend wird das Rohr fertig in den langen Arm eingeschweisst. Zur Befestigung verwenden wir gelaserte Rohrhälter mit präzisiertem Ausschnitt.

Das Rohr verjüngt sich nach hinten, bis es denselben Durchmesser wie das Rohr des kleinen Arms hat. Diese Verjüngung bzw. Vergrösserung in Flussrichtung ergibt sich aus den Anschlussbedingungen. Der Einfüllstorz des Fasses besitzt einen Innendurchmesser von 100mm, während die auf dem Feld ausgelegten Schläuche nur einen Durchmesser von 70mm haben.



Abbildung 64: Bildergalerie Rohrbogen



13.8 Transporthaltehebel

Wir konstruieren den Haltehebel so, dass der vordere Arm in Transportstellung knapp oberhalb des Schauglases des Güllefasses liegt und in Arbeitsstellung gleichzeitig als Überstreckungsschutz für die Feder dient. Das System ist bewusst einfach gehalten. Ein Stahlseil wird auf der einen Seite an einem Zug Hebel und auf der anderen Seite am kurzen Arm befestigt. Über eine Rolle, die am langen Arm montiert ist, wird das Seil umgelenkt, sodass die Zugkraft direkt auf den kurzen Arm wirkt.

Der Hebelarm kann sowohl in Transport- als auch in Arbeitsstellung mit demselben Bolzen fixiert werden. Als Drehpunkt verwenden wir eine M20-Schaftschraube; das Stahlseil hat einen Durchmesser von 10mm. Eine Schutzhaube auf der Rolle verhindert, dass das Seil herausrutscht. Die Rolle selbst stammt aus dem Fundus von Marius. Ursprünglich handelte es sich um eine Keilriemenrolle eines Rasentraktors.



Abbildung 65: Umlenkrolle



Abbildung 66: Transporthaltehebel

13.9 Tatsächliches Gewicht

Nach dem ersten Gesamtzusammenbau können wir das tatsächliche Gewicht wiegen. Dazu nutzen wir eine Kälber-/Rinderwaage, die auf ein halbes Kilo genau ist. Daraus ergibt sich, dass das ausgerechnete Gewicht ziemlich genau stimmt. Total sind es 215.5 Kilogramm, die der Arm mit Lagerbock und Lager wiegt. Ausgerechnet wurde 213 Kilogramm, somit sind wir in der Toleranz, welche wir bei der Berechnung miteinkalkuliert haben.



Abbildung 67: Test - Effektives Gewicht

13.10 Transportbock

Eines der letzten gefertigten Bauteile ist der Transportbock. Er hat die Aufgabe, den Arm während der Strassenfahrt zu sichern, sodass er weder hüpfet noch sich verdreht. Damit der Arm nicht direkt auf dem Bock aufliegt, schrauben wir zwei Aluminiumkufen als Auflage an. Diese reduzieren die Reibung und sorgen gleichzeitig dafür, dass der Zink-Korrosionsschutz auch nach häufigem Auf- und Absetzen erhalten bleibt.

Als persönliche Note graviert Marius den Schriftzug „Firma Bachmä“ – so wird der Bauernhof in der Familie scherzhaft genannt – per Lasergravur in den Anschlag des Arms.



Abbildung 68: Transportbock

13.11 Verzinken

Um einen dauerhaften Korrosionsschutz sicherzustellen, werden alle Stahlteile vor der endgültigen Montage verzinkt. Dafür sind einige Vorbereitungen erforderlich. Zunächst werden sämtliche Bauteile sorgfältig entgratet und verputzt. Dabei entfernen wir Schweisserspritzer und säubern die Schweissnähte mit dem sogenannten „Nagler“. Dieses Gerät wird vor allem im Stahlbau eingesetzt, um grosse Schweissnähte oder Roststellen zu reinigen. Es sieht aus wie eine Pistole und besitzt an der Vorderseite mehrere Nadeln, die mit Druckluft auf die Oberfläche schlagen. Dadurch entsteht eine gleichmässige, saubere Oberfläche, wie sie auch auf dem Bild erkennbar ist.

Zusätzlich bohren wir Entlüftungslöcher in Hohlräume, damit diese beim Verzinken nicht durch den entstehenden Druck bersten. Nach dem Verzinken müssen alle Durchgangsbohrungen wieder auf das korrekte Mass aufgebohrt werden, da sie teilweise mit Zink zugesetzt sind. Auch die Gewinde schneiden wir nach, um die volle Funktionalität sicherzustellen. An einigen Stellen entstehen sogenannte Zinknasen. Das sind kleine Tropfen, die beim Abkühlen am Werkstück haften bleiben und anschliessend entfernt werden müssen.



Abbildung 69: Ausleger - Transportposition



Abbildung 70: Vorbereitete Armverlängerung für Verzinkung



Abbildung 72: Nagelpistole



Abbildung 71: Verzinkte Teile - Retour

13.12 Endmontage und Testfahrt

Nachdem alle Teile nach dem Verzinken gereinigt wurden, beginnen wir mit der Endmontage. Dazu schmieren und fetten wir alle beweglichen Bauteile, damit die Konstruktion leichtgängig arbeitet und vor Verschleiss geschützt ist. Anschliessend ziehen wir alle Schraubverbindungen mit dem vorgesehenen Drehmoment an und sichern sie fachgerecht, sodass sich im Betrieb nichts lösen kann.

Anschliessend führen wir den ersten Praxistest durch. Dafür legen wir rund 400 Meter Schlauch aus und bringen auf einem 2,81 Hektar grossen Feld Gülle aus. Während des Tests kontrollieren wir die Funktion der gesamten Anlage. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei dem Schwenkmechanismus, den Schweissnähten sowie den gelaserten und abgekanteten Teilen, um mögliche Schwachstellen frühzeitig zu erkennen.

Marius begleitet den Versuch mit einer Drohne. So entstehen aussagekräftige Bilder und Videos sowie eine gute Dokumentation der Abläufe und der Belastung der einzelnen Baugruppen. Während des gesamten Einsatzes zeigt sich, dass die Konstruktion zuverlässig arbeitet. Die Arme bewegen sich wie vorgesehen, die Lager laufen sauber und der Transportbock hält die Position stabil. Es treten keine unerwarteten Verformungen oder Beschädigungen auf.

Damit bestätigt der erste Test, dass die Auslegung und Fertigung der Baugruppe den Anforderungen entspricht.



Abbildung 73: Verzinkte Baugruppe



Abbildung 74: Verzinkter Lagerbock



Abbildung 76: Testfahrt finale Version



Abbildung 75: Fernbedienung Drohne

14 Konzept – Evaluierung

Die abschliessende Evaluierung des entwickelten Konzepts zeigt, dass die gesteckten Ziele weitgehend erreicht wurden. Der Ausleger erfüllte die gestellten Anforderungen im praktischen Einsatz und die ersten Testfahrten bestätigten die Praxistauglichkeit der Konstruktion. Auch die Handhabung stellte sich als unkompliziert heraus, was für den späteren Einsatz im landwirtschaftlichen Alltag von wichtiger Bedeutung ist. Das volle Potenzial des Systems wird sich allerdings erst in den kommenden Jahren zeigen, wenn Rückmeldungen aus dem echten Dauereinsatz vorliegen. Erst dann lässt sich endgültig beurteilen, ob die Lösung langfristig robust und zuverlässig arbeitet.

Spannend war der Vergleich zwischen Simulation und Realität. Während die FEM-Analyse eine stärkere Durchbiegung des Auslegers prognostizierte, zeigte sich im Test, dass die Verformung in der Praxis geringer ausfiel. Ein möglicher Grund dafür ist, dass die in der Simulation angesetzten Kräfte konservativ geschätzt und dadurch etwas zu hoch gewählt wurden. Dieser Unterschied verdeutlicht, wie wichtig es ist, nicht ausschliesslich auf Berechnungen zu vertrauen, sondern diese stets mit realen Messungen und praktischen Versuchen abzugleichen.

Für zukünftige Projekte ergibt sich daraus eine klare Lehre: Annahmen sollten so früh wie möglich durch Messungen untermauert werden. Ein einfaches Beispiel wäre die Integration einer Waage zwischen Schlauch und Anhänger. Damit könnten die tatsächlich wirkenden Kräfte präzise erfasst und als Basis für die Dimensionierung genutzt werden. Diese Vorgehensweise hätte im vorliegenden Projekt nicht nur die Genauigkeit der Berechnungen verbessert, sondern vermutlich auch Zeit gespart, da Unsicherheiten schneller ausgeräumt worden wären. Insgesamt zeigt die Evaluierung, dass das Konzept tragfähig ist, es aber noch Spielraum für eine systematischere Herangehensweise bei der Datenerhebung gibt.

15 Terminplan Soll / Ist Vergleich

Das Projekt startete planmässig: Die Vorbereitungen, das Kick-off-Meeting und die anschliessende Ideen- und Konzeptphase verliefen ohne Verzögerungen. Auch die Konstruktions- und Berechnungsarbeiten konnten im vorgesehenen Zeitrahmen abgeschlossen werden. Erste Abweichungen zeigten sich in der Fertigung, die sich leicht verlängerte, jedoch durch parallele Montagearbeiten aufgefangen wieder wurde. In der Finalisierungsphase kam es zu weiteren Verzögerungen bei der Dokumentenbearbeitung.

Durch simultane Arbeitsaufteilung konnte der Verzug aufgeholt werden und der Zeitpuffer wurde für die Korrektur genutzt.

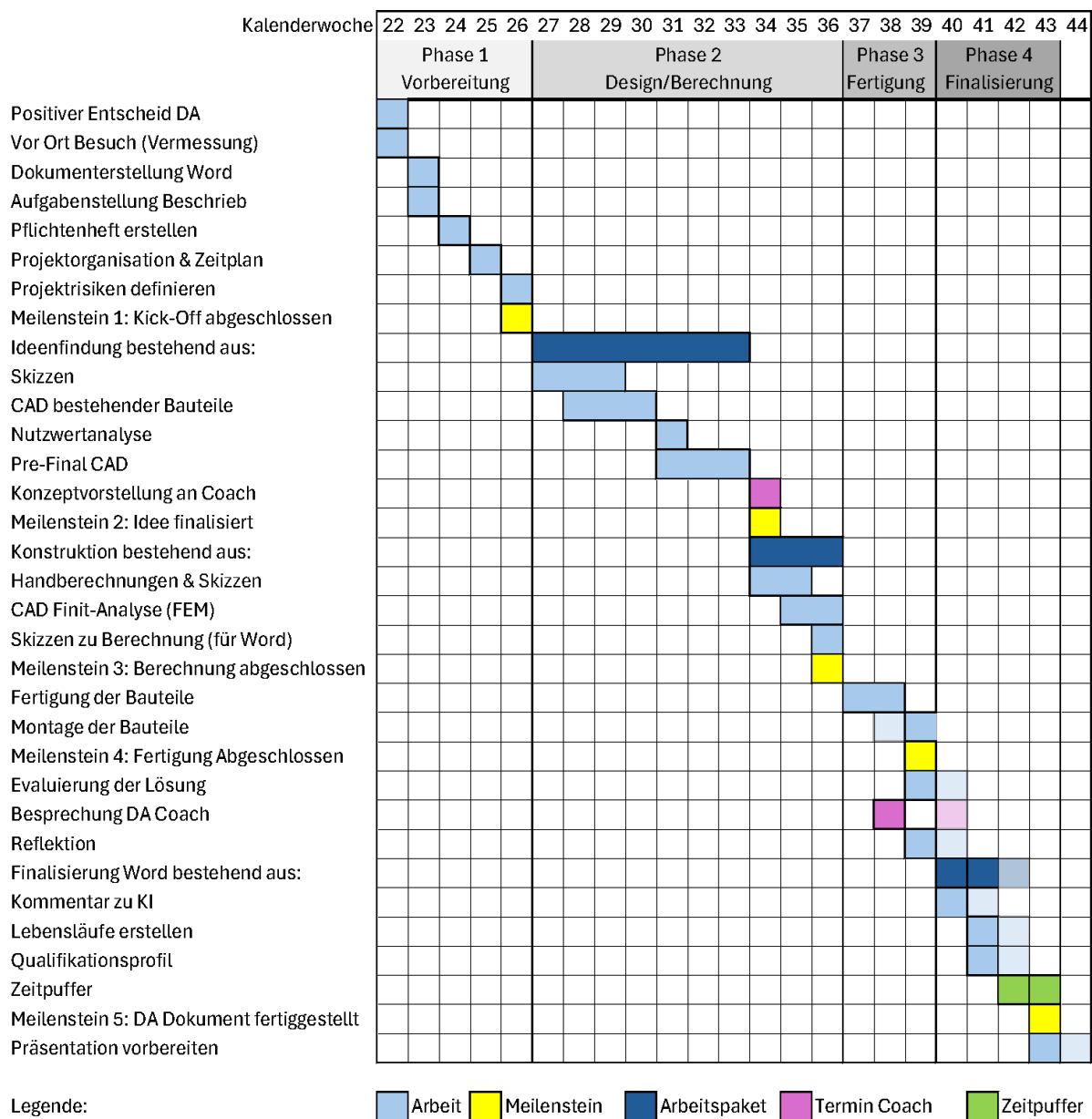


Abbildung 77: Terminplan Soll / Ist

16 Reflektion & Lessons learned

Im Rückblick wird deutlich, dass viele Elemente des Projekts sehr gut funktioniert haben. Besonders hervorzuheben ist die Zusammenarbeit im Team. Die gemeinsamen Abende, an denen zusammengearbeitet und gleichzeitig viel gelacht wurde, trugen wesentlich zum Erfolg bei. Solche Momente haben gezeigt, dass technische Projekte nicht nur aus Zahlen, Berechnungen und CAD-Modellen bestehen, sondern auch von Motivation, gegenseitigem Vertrauen und Freude an der Sache leben.

Ein weiterer grosser Pluspunkt war die Fertigung. Der Einsatz der Lasermaschine führte zu einer hohen Präzision der Bauteile, sodass spätere Korrekturen auf ein Minimum beschränkt blieben. Auch beim Schweissen zeigte sich der Vorteil von Erfahrung: Dank Marius' Know-hows konnte der Verzug der Teile praktisch vollständig vermieden werden. Dies war keineswegs selbstverständlich, da gerade bei dünnwandigen Stahlteilen thermische Einflüsse oft erhebliche Probleme verursachen können.

Natürlich verlief nicht alles reibungslos. Während der Sommerferien kam das Projekt etwas ins Stocken, da die Prioritäten nicht immer auf der Diplomarbeit lagen. Diese Phase führte zu Verzögerungen, die jedoch durch grösseren Arbeitsaufwand im Anschluss wieder ausgeglichen werden konnten. Rückblickend ist dies eine wichtige Erfahrung: Zeitreserven und Puffer sind unverzichtbar, da unerwartete Pausen oder externe Verpflichtungen in jedem Projekt auftreten können.

Als sehr wertvoll erwies sich die akkurate CAD-Modellierung. Sie ermöglichte eine präzise Planung und diente als Kommunikationsgrundlage im Team. Viele Probleme konnten direkt am Modell erkannt und gelöst werden, noch bevor sie in der Realität aufgetreten wären.

Die räumliche Distanz zwischen Marius und Joël war eine Herausforderung, die sich nicht ohne Weiteres lösen lässt. Eine engere Zusammenarbeit vor Ort hätte vieles vereinfacht. Dennoch zeigt das Projekt, dass auch unter diesen Umständen solide Ergebnisse erzielt werden können, wenn Organisation und Abstimmung stimmen. Alles in allem bleibt die Erkenntnis, dass neben technischem Wissen auch Teamgeist, Verlässlichkeit und Gelassenheit entscheidend für den Erfolg sind.

17 Schlusswort & Danksagung

Das Projekt rund um den Ausleger stellte sich nicht nur als technische Herausforderung heraus, sondern war auch eine persönliche Reise. Es zeigte sich einmal mehr, dass der Unterschied zwischen Theorie und Praxis erheblich sein kann. Zu Beginn wirkte der Zeitplan grosszügig und es entstand der Eindruck, man habe mehr als genug Spielraum. Gegen Ende wurde jedoch klar, dass viele Arbeitsschritte länger dauerten als gedacht. Auch kamen immer neue Details hinzu, die vorher nicht berücksichtigt wurden. Diese Erfahrung ist lehrreich: Projekte folgen selten einem linearen Verlauf und die viel Zitierte 80/20-Regel bewahrheitete sich auch hier.

Trotz aller Herausforderungen steht am Ende ein funktionierendes, praxistaugliches System, das den Anforderungen standhält. Der Weg dorthin war anspruchsvoll, aber genau darin lag auch der Reiz. Jeder Arbeitsschritt, von den ersten Skizzen über die CAD-Modelle bis hin zur Fertigung und den Testfahrten, brachte neue Erkenntnisse und trug dazu bei, dass ein durchdachtes Endprodukt entstehen konnte.

Ein persönlicher Dank geht an Mireille Dobler, die mit der sorgfältigen Korrektur der Grammatik wesentlich dazu beigetragen hat, dass die Arbeit in einer klaren und verständlichen Form vorliegt. Dieser Beitrag war nicht nur eine Hilfe in sprachlicher Hinsicht, sondern auch eine grosse Entlastung im Endspurt.

Auch danken wir der Firma Metaldienste, welche die Maschinen wie Laser und Abkantpresse zur Verfügung gestellt haben. Dies ermöglichte uns eine immense Zeitersparung und sehr professionelle und leichte Ausführung. Zusätzlich konnten wir das Material für die Fertigung sehr preiswert über die Firma erwerben, was auch dem Portemonnaie guttut.

Ebenfalls ein persönlicher Dank geht an die ganze Familie Bachmann, die mit Hilfeleistungen in der Fertigung und der Zurverfügungstellung der Werkstatt den grössten externen Beitrag geleistet hat. Ebenfalls kam die Grundidee eine solche Diplomarbeit zu verfassen nur zustande, da dieses Problem auf dem Bauernhof bestand. Zudem werden die gesamten anfallenden Kosten von Rolf Bachmann übernommen, was wir sehr zu schätzen wissen.

18 Kommentar zu KI

Die rasante Entwicklung der künstlichen Intelligenz wirft nicht nur technische Fragen auf, sondern eröffnet auch neue Perspektiven auf gesellschaftliche und pädagogische Dimensionen. Neben der Faszination über die neuen Möglichkeiten ist es wichtig, die Chancen und Grenzen dieser Technologie im Alltag und in der Bildung sorgfältig zu betrachten.

KI-Systeme arbeiten auf der Grundlage grosser Datenmengen und können dadurch erstaunliche Ergebnisse liefern. Gleichzeitig können sie jedoch auch bestehende Muster oder Vorurteile weitervermitteln. Um dem vorzubeugen, sollten von Anfang an klare Leitlinien und transparente Verfahren in die Entwicklung integriert werden. Offenheit im Umgang mit Entscheidungsprozessen stärkt das Vertrauen und erleichtert eine sachliche Einschätzung der Auswirkungen auf die Gesellschaft.

So leistungsfähig KI auch ist, sie bleibt ein Werkzeug mit begrenztem Verständnis für Zusammenhänge. Gerade bei moralischen Fragen ist die Aufsicht des Menschen unerlässlich. Klare Verantwortlichkeiten stellen sicher, dass KI nicht als eigenständige Instanz auftritt, sondern den Menschen unterstützt und entlastet.

Besonders im Hinblick auf die Arbeitswelt bringt KI grosse Veränderungen mit sich. Während in einigen Bereichen Arbeitsplätze zurückgehen, entstehen in anderen neue Tätigkeitsfelder. Eine vorausschauende Politik mit Weiterbildungs- und Umschulungsangeboten kann dazu beitragen, dass die Vorteile breit geteilt werden. Hier sind Zusammenarbeit und Austausch zwischen Wirtschaft, Bildung und Staat entscheidend.

Im Bildungsbereich findet KI bereits konkrete Anwendung. Personalisierte Lernplattformen und adaptive Methoden ermöglichen es, den Unterricht stärker auf die individuellen Bedürfnisse der Studenten zuzuschneiden. Dadurch kann ein spezifischer Teil des Unterrichts wiederholt werden und unterstützt die Studenten. Auch YouTube-Tutorials können das, jedoch nicht so perfekt auf das Problem abgestimmt.

Gleichzeitig darf der pädagogische Kern nicht aus den Augen verloren werden. Der Einsatz von KI soll das Lernen ergänzen, nicht ersetzen. Es ist daher Sorgfalt geboten, damit Grundsätze und bewährte Lehrtraditionen gewahrt bleiben.

Ein Blick in die Zukunft lässt spannende Entwicklungen erwarten: von noch ausgereifteren Lernsystemen, über adaptive Klassenräume, bis hin zu intelligenten Hilfsmitteln, die Studenten individuell begleiten. Wenn es gelingt, technologische Innovation mit menschlicher Verantwortung zu verbinden, kann KI einen bedeutenden Beitrag zur Weiterentwicklung von Bildung und Gesellschaft leisten.

Anhang

Bestehend aus:

- Sitzungsprotokollen
- Hilfszeichnung Fertigung
- Lebenslauf - Joël Dobler
- Lebenslauf - Marius Bachmann
- Qualifikationsprofil nach RLP Joël Dobler
- Qualifikationsprofil nach RLP Marius Bachmann
- Zeitprotokoll

Erster Diplomcoach Termin

Anwesend: Peter Müller, Joël Dobler, Marius Bachmann

Datum: 22.08.2025, Zeit: 13:45 – 14:45, Protokoll des Sitzungstermins 1

Generelle Themenübersicht und Ausgangslage

Zu Beginn wurde die generelle Themenübersicht vorgestellt und die Ausgangslage des Projekts erläutert. Das Ziel besteht darin, die Belastungen und Berechnungen für den Schlauch sowie die weiteren Konstruktions- und Fertigungsschritte realistisch darzustellen und einzuordnen.

Vorgaben und Kriterien

Die geltenden Vorgaben und Bewertungskriterien wurden vorgestellt und diskutiert.

Terminplan und aktueller Stand

Der Terminplan wurde erläutert und der aktuelle Arbeitsstand vorgestellt. Der zweite Sitzungstermin steht derzeit noch nicht fest. Nach Abschluss der Berechnungskontrolle kann mit der Fertigung begonnen werden.

Skizzen und CAD

Die bisher erstellten Skizzen und CAD-Modelle wurden präsentiert. Es wurde betont, dass die CAD-Modelle einen wichtigen Teil der Arbeit darstellen, da viele Bauteile mit einer Laserschneidmaschine gefertigt werden müssen.

Berechnungen

Das Schlauchsystem wird überschlägig auf eine maximale Belastung von 1,5 Tonnen begrenzt (angenommener Wert). Seitenbelastungen werden nicht weiter berücksichtigt, da sie im Vergleich deutlich kleiner ausfallen.

Die Berechnung des Schlauchgewichtes unter Berücksichtigung der Reibung wird durchgeführt und anschliessend mit dem angenommenen Wert überprüft.

Die Lager können wie vorgesehen berechnet werden.

Die Feder wird ebenfalls wie vorgesehen berechnet.

Alle Berechnungen werden vorgängig Peter per E-Mail zur Kontrolle geschickt.

Weitere Hinweise

Der vorgeschriebene Umfang beträgt 12.000 Wörter pro Arbeit und nicht pro Person. Für unser Projekt gibt es keine feste Wortbegrenzung, da ein erheblicher Teil durch CAD-Modelle, umfangreiche Berechnungen und die Fertigung abgedeckt wird.

Die mit KI erstellte Skizze muss separat im Quellenverzeichnis aufgeführt werden.

Der zusätzlich verfasste Abschnitt zur KI muss keinen direkten Bezug zur Arbeit haben.

Unterschrift
Peter Müller

Unterschrift
Joël Dobler

Unterschrift
Marius Bachmann

Zweiter Diplomcoach Termin

Anwesend: Peter Müller, Joël Dobler, Marius Bachmann

Datum: 26.09.2025, Zeit: 14:00 – 14:45, Protokoll des Sitzungstermins 1

Dokumentaufbau

Beim Schreiben kam die Frage auf, ob es bei dem Literaturverzeichnis Seitenzahlen der Quellen braucht dies kann aber vernachlässigt werden.

Ebenfalls haben wir uns gefragt, wo der Lebenslauf und das Qualifikationsprofil hinmüssen, ergeben hat sich, dass diese Dokumente einfach im Anhang angehängt werden können.

Auch fragten wir uns, welches Jahr auf das Titelblatt muss?

Zusammen wurde sich auf die Dauer des Studiums geeinigt.

Darf Lebenslauf Abschluss des Studiums enthalten

Ja der Lebenslauf darf den Abschluss schon enthalten, es kann aber auch mit dem Zeitraum des Studiums beschrieben werden.

Diplomabgabe

Die Diplomarbeit muss einmal Digital abgegeben werden und zweimal physisch in Druckform. Eine gedruckte Version ist fürs Sekretariat und eine für Peter Müller (Diplomcoach).

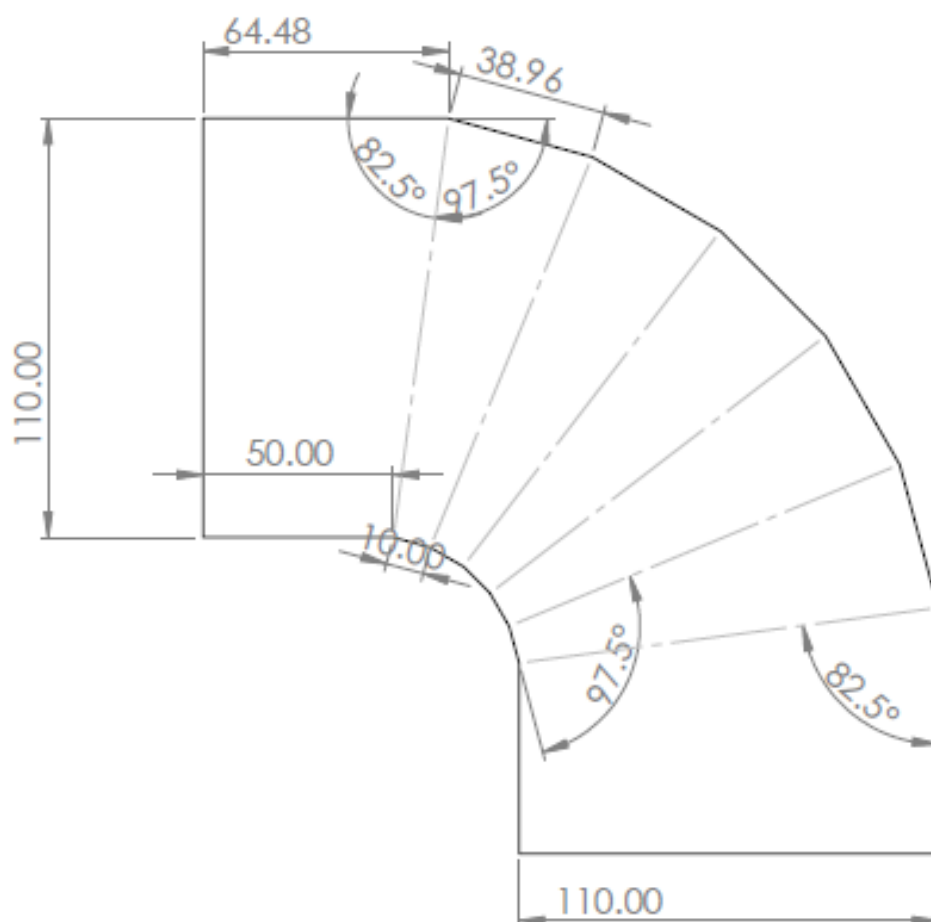
Diplompräsentation

Um das Produkt besser zeigen zu können, werden wir ein ca. zweiminütiges Video zusammenschneiden, die den Einsatz des Produktes gut darstellen zu können, da es nicht mit zur Präsentation gebracht werden kann. Vorgetragen wird ca. 20min plus Fragen.

Unterschrift
Peter Müller

Unterschrift
Joël Dobler

Unterschrift
Marius Bachmann



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT:
TOLERANZEN:
LINEAR:
WINKEL:

OBERFLÄCHENRÖTTE:

ENTORATEN
UND SCHARFE
KANTEN
BRECHEN

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN

ÄNDERUNG

	NAME	SIGNATUR	DATUM		
GEZEICHNET					
GEPRÜFT					
GEHEMT					
PRODUKTION					
QUALITÄT					

WERKSTOFF:

GEWICHT:

BENENNUNG:

ZEICHNUNGSNR.

MASSSTAB: 1:5

BLATT 1 VON 1

Stahlrohr Boge 110mm

A4



Joël Dobler

Servicetechniker in Service und Entwicklung

Persönliches



077 444 58 04



joel.dobler98@gmail.com

26.12.1998



Oberseenerstrasse 16,
8405 Winterthur

CH

Stärken // professionell

- Microsoft Excel
- Zielorientiert
- Logisch, abstrakt denken
- Handwerkliche Arbeiten
- Ausbilden von Personen

Sprachen

Deutsch:

Sehr gut (Muttersprache)

Französisch:

Gut (Bilingual aufgewachsen)

Englisch:

Gut (Arbeitskenntnisse aus
der Aviatik)

Berufserfahrung

- | | |
|-------------|--|
| 2023 – | HFS Aqua AG,
Servicetechniker & Kleinprojektleitung
Abteilung: Service und Entwicklung |
| 2014 – 2022 | SR Technics Switzerland AG,
Triebwerkprüfstandmechaniker |
| 2014 – 2018 | Berufliche Ausbildung als Polymechaniker
Schwerpunkt:
Triebwerkprüfstandmechaniker
SR Technics Switzerland AG |

Weiterbildungen

- | | |
|------|--|
| 2025 | Dipl. Techniker HF Maschinenbau, TEKÖ |
| 2022 | Berufsbildner, Swissmem Academy |
| 2020 | Python Modul 1, Migros Klubschule |
| 2019 | Practical Trainer, interne Ausbildung |
| 2019 | Borescope Inspektion auf CFM56 |
| 2019 | Operator 1 auf Pratt & Whitney und CFM56 |
| 2018 | Jugend und Sport Leiterkurs, Sumiswald |
| 2017 | Basic Module 15, Gas turbine engines B1 |
| 2014 | ECDL Base certificate, Berufsschule Bülach |

Schulen

- | | |
|-------------|--|
| 2022 – 2025 | Dipl. Techniker HF Maschinenbau, TEKÖ |
| 2014 – 2018 | Berufsschule Bülach, Polymechaniker Niv. E |
| 2014 – 2018 | Allgemeinbildung Bilingual (D, E) |
| 2017 – 2017 | Technisches Englisch, Berufsschule Bülach |
| 2011 – 2014 | Sekundarschule Seebel (A), Pfungen |

Stärken // privat

- CAD-Zeichnen
- Designs erstellen
- 3D Drucken
- D.I.Y. Projekte (z.B. Elektro SUP, E-Bike, Prototypen)

Freizeit

- Hornussen
- Wassersportarten
- Basteln
- Musik

Projektarbeiten

2016 «Rent-a-stift»
Berufsbildungsforum, Zürcher Unterland-
Flughafen

Militär

2018 Rekrutenschule als Motorfahrer (Kat. CE)

Referenzen

Britta Uekötter

Leiterin Service & Entwicklung

+41 52 218 14 62

HFS Aqua AG

Lebenslauf

Persönliche Angaben:

Name: Bachmann
Vorname: Marius
Adresse: Grossholz 27, 8932 Mettmenstetten
Telefon: 079 127 50 83
E-Mail: marius.bachmann44@gmail.com
Geburtsdatum: 11. März 2000
Zivilstand: ledig, keine Kinder



Schulbildung:

2007 - 2013	1. – 6. Klasse Primarschule Mettmenstetten
2013 - 2016	1. – 3. Klasse Sekundarschule Niveau A, Mettmenstetten
2016 - 2020	1. – 4. Baugewerbliche Berufsschule Zürich (Metallbauer EFZ)
2022 - 2025	1. – 6. Semester höhere Fachschule TEKO zum Dipl. Maschinenbautechniker HF

Berufserfahrungen:

2016 - 2020	Lehre zum Metallbauer EFZ bei Frei und Partner Metallbau AG (22.08.2016 – 21.08.2020)
2020 - 2022	Mitarbeiter in Produktion als Metallbauer EFZ bei Frei und Partner Metallbau AG (22.08.2020 – 28.11.2022)
Militär	Ausgehoben als Nachschubsoldat RS (05.07.2021 - 05.11.2021)
2022	Konkursmasse von Frei und Partner Metallbau kaufen und verkaufen (28.11.2022-31.01.2023)
2023 - 2024	Mitarbeiter in Produktion als Metallbauer EFZ bei Metaldienste GmbH (01.02.2023-31.12.2024)
2025 -	Projektleiter und Metallbauer bei Metaldienste GmbH (Angestellt seit 01.01.2025)

Sprachen:

Deutsch:	Muttersprache
Englisch:	schriftliche und mündliche Ausdrucksweise gut
	Niveau C1-2
Französisch:	Schulkenntnisse

Interessen und Kompetenzen:

Ich interessiere mich seit meiner Kindheit für technische Errungenschaften und habe deshalb einen technischen Beruf gewählt. Mein Ziel ist es, mit dem Maschinenbautechniker HF Studium die Grundlagen zu schaffen, um später eine eigene Firma eröffnen zu können. Ich bin zuverlässig, arbeite gründlich, genau und bin handwerklich geschickt. Teamarbeit liegt mir ebenfalls und Problemlösungen suchen gehört zu meinen absoluten Stärken. Ich bin neugierig und lerne ich gerne täglich etwas Neues dazu.

Hobbies:

Sport: Turnverein, Fahrrad fahren, Sportschiessen, Skifahren

Andere Hobbies: 3D-Druck, Drohnen, Konstruieren

Vereine:

Turnverein: aktiv seit 2008, damals noch Jugi

Schützenverein Dachlissen Mettmenstetten: aktiv seit 2011, jetzt im Vorstand als Jungschützenleiter

Bezirksschützenverein Affoltern a.A.: aktiv seit 2025 als Jungschützen-Chef

Referenzen:

Dusko Lazarevic
Betriebsleiter
Metalldienste GmbH
041 750 30 55
info@metalldienste.ch

Bruno Sidler
Präsident
Schützenverein Dachlissen -
Mettmenstetten
044 768 30 40

Qualifikationsprofil nach RLP Joël Dobler

Während meiner dreijährigen Ausbildung zum diplomierten Techniker HF in der Fachrichtung Maschinenbau konnte ich mein Wissen stetig erweitern und in der Praxis anwenden. Besonders wertvoll war dabei die enge Verbindung von Studium und beruflicher Tätigkeit im Bereich der Wasseraufbereitung. Im Folgenden beschreibe ich die wichtigsten allgemeinen und fachspezifischen Kompetenzen, die ich während meiner Studienzeit vertieft habe.

Prozess 1: Menschen führen

Zu Beginn meiner Studienzeit war ich noch am Flughafen tätig und durfte dort als Lehrlingsbetreuer Verantwortung übernehmen. Ich konnte Auszubildende anleiten, Aufgaben verteilen und regelmässig Feedbackgespräche führen. Diese Erfahrung war eine wichtige Grundlage, um später im Berufsalltag Subunternehmer oder Monteure sicher anleiten und koordinieren zu können.

Prozess 5: Präsentieren und kommunizieren

Während des Studiums habe ich gelernt, wie wichtig klare und verständliche Kommunikation ist. Ein gutes Beispiel hierfür war die Vorstellung eines selbst erstellten Berechnungstools für Rohrhydraulik. Dazu führte ich eine interne Schulung durch, bei der ich mein Wissen weitergeben konnte. Das Tool basierte auf Iterationen nach der Colebrook-White-Formel sowie Berechnungen mit der Reynolds-Zahl – Themen, die wir im Fach Strömungstechnik und in Mathematik bei Georg Weissenberger vertieft hatten. Solche Präsentationen haben mir gezeigt, dass Fachthemen nur dann nützlich sind, wenn sie praxisnah und verständlich erklärt werden.

Prozess 6: Unternehmensprozesse verstehen und mitgestalten

In meiner Arbeit bin ich direkt in betriebliche Abläufe eingebunden. Dazu gehört die selbstständige Erstellung von Offerten und die Kalkulation der Projektkosten. Darüber hinaus konnte ich aktiv an Verbesserungen mitwirken. So wurde unser Lager nach dem 5S-Prinzip neu organisiert, was die Lagerung und das Wiederfinden von Bauteilen erleichtert hat. Gleichzeitig entstand dadurch eine bessere Kostenübersicht über die vorhandenen Bestände.

Prozess 7: Geschäftsziele erreichen

Ein wichtiger Beitrag von mir bestand in der Analyse der Fahrzeugflotte. Ich verglich Elektrofahrzeuge mit Verbrennern, berechnete den Return on Investment und erarbeitete Entscheidungsgrundlagen für die geplante Umstellung auf E-Mobilität ab 2026. Diese Analyse war nicht nur theoretisch, sondern wird in der Firma auch wirklich umgesetzt.

Prozess 8: Umfeld berücksichtigen

Die Themen Sicherheit, Umwelt und Nachhaltigkeit begleiten meine Arbeit ständig. Ein konkretes Beispiel war ein Projekt im Tessin, bei dem die Einleitung von rückgespültem Wasser in die Kanalisation mit den Behörden abgestimmt werden musste. Dabei spielte der Restchlorgehalt eine zentrale Rolle. Solche Aufgaben zeigen, wie eng Technik, Umweltschutz und Sicherheit miteinander verbunden sind.

Prozess 9: Probleme analysieren und lösen

Ein prägendes Beispiel für die Anwendung dieser Kompetenz war der Transport schwerer Bauteile in ein Untergeschoss mit steiler Treppe. Da es keinen Platz für zwei Personen gab, entwickelte ich eine Lösung mit einer Seilwinde, einem Wagen und Schienen, die dem Prinzip einer kleinen Standseilbahn folgte. So konnte das Material sicher befördert werden. Diese Erfahrung hat mir gezeigt, dass kreative Ansätze oft zu den besten Ergebnissen führen.

Prozess 11: Produkte entwickeln

Während meiner Diplomarbeit durfte ich ein neues Recovery-Modul für Trinkwasseranlagen entwickeln. Das Ziel war, die Prozesse schneller und sicherer zu gestalten. Ich konnte das tragbare Modul für Dosierung und Umwälzung von der Berechnung über die Konstruktion bis hin zum Bau vollständig selbst entwickeln. Diese Erfahrung war ein Höhepunkt meiner Studienzeit, da ich ein Produkt von Grund auf realisieren durfte.

Prozess 13: Fertigungsvorbereitung und -begleitung

Ein weiteres wichtiges Projekt war die Konstruktion einer speziellen Schwemmwasserklappe für eine Trinkwasseraufbereitungsanlage in Zürich. Ich erstellte die Konstruktion und die Zeichnungen und bereitete die Unterlagen für die Fertigung vor. Dabei wurde mir klar, wie entscheidend exakte Zeichnungen und Stücklisten sind, damit in der Produktion alles reibungslos funktioniert.

Prozess 17: Kunden beraten und betreuen

Ein grosser Teil meiner Arbeit besteht im direkten Kundenkontakt. Bei Serviceeinsätzen, Abnahmen oder Projektbesprechungen beantworte ich Fragen, erkläre technische Zusammenhänge und unterstütze die Kunden bei Entscheidungen. Diese Aufgabe bereitet mir besonders viel Freude, da ich mein Fachwissen einbringen und so für Vertrauen und Zufriedenheit sorgen kann.

Fazit:

Die letzten drei Jahre an der Höheren Fachschule haben mich fachlich stark geprägt. Ich konnte Verantwortung übernehmen, Probleme besser lösen und meine Fachkompetenzen im Maschinenbau stetig ausbauen. Besonders wertvoll war für mich die Möglichkeit, Theorie und Praxis eng miteinander zu verbinden. Somit bin ich bestens auf die weiteren Herausforderungen als dipl. Techniker HF Maschinenbau vorbereitet.

Qualifikationsprofil nach RLP Marius Bachmann

Im Rahmen meiner dreijährigen Weiterbildung zum Dipl. Techniker HF Maschinenbau konnte ich meine Kenntnisse systematisch erweitern und zugleich praxisnah anwenden, wodurch ich meine Kompetenzen deutlich stärken konnte. Besonders wertvoll war dabei die enge Verknüpfung von theoretischen Inhalten mit meiner beruflichen Tätigkeit im Metallbau und für die Projektleitung. Im Folgenden stelle ich die wichtigsten fachlichen Fähigkeiten dar, die ich während des Studiums gezielt ausbauen konnte, um meine Persönlichkeit und beruflichen Kompetenzen zu stärken.

Prozess 1: Menschen führen

In meinem damaligen Lehrbetrieb habe ich viel mit Lernenden zusammengearbeitet, was mir ein gewisses Grundverständnis gegeben hat. Richtig gelernt Menschen zu führen, habe ich aber erst beim jetzigen Arbeitgeber. Ich arbeite da teilweise als Projektleiter und da gehört das Menschen führen zum alltäglichen Teil dazu. Auch die Tagespersonaleinteilung ist Teil meiner alltäglichen Arbeit.

Prozess 2: Entscheidungen fällen

Ich habe bereits im alten Betrieb gelernt kritisch auf die Pläne der Konstrukteure zu schauen, was man ändern oder anpassen kann, sodass es für die Praktik logischer ist auszuführen. Somit kann ich jetzt in meiner Funktion Selbständige entscheiden, welche Art von Ausführung für welches Projekt am geeignetsten ist.

Prozess 3: Projekte planen und leiten

Ich plane, leite und setze teilweise die Projekte direkt selbst um, da der Betrieb, in dem ich arbeite, ein Kleinbetrieb ist. Grössere Projekte koordiniere ich und leite sie an, vom Ausmassen über die Produktion bis hin zur Ausführung.

Prozess 7: Geschäftsziele erreichen

Als Stellvertreter des Betriebsleiters ist es wichtig, dass mein Auge stets auf die Geschäftsziele gerichtet ist. Somit setze ich ständig Verbesserungen Betriebsintern direkt um, wie der Ausbau des «Schlosser-eckens», was und ein immenser Platz geschaffen hat und die Produktion somit stark ausgebaut werden konnte.

Prozess 8: Umfeld berücksichtigen

Das Thema Umwelt spielt in jedem Betrieb eine Rolle, ich habe mich darangesetzt, dass die Mülltrennung eingehalten werden und das Alteisen gut sortiert werden kann. Somit kann auch bei der Entsorgung Kosten gespart werden. Auch ist mir wichtig, dass die Arbeiter richtig geschützt sind beim Schweißen, in Zukunft möchte ich noch eine bessere Absauganlage einrichten, um die Gesundheit der Mitarbeiter zu schützen.

Prozess 9: Probleme analysieren und lösen

Bei einem Projekt mussten sehr viele Teile genau gleichmässig angefast werden, jetzt hätte man alle diese Teile einem Fräscnter geben können oder man baut sich kurzerhand selbst etwas, um diese Teile fertigen zu können. Da es nur Aluminium war habe ich einen scharfen Senker in einen Handfräser eingespannt und diesen dann mithilfe Anbauteile auf dem Lochstisch befestigt. So konnten die Teile nur noch mithilfe einer Führungsschiene genau angefast werden. Solche ein wenig verrückte doch sehr kreativen Lösungen sind, die diese Kompetenz sehr spannend machen.

Prozess 11: Produkte entwickeln

Das grösste Prototypprodukt, was ich gemacht habe, war diese Konstruktion der Diplomarbeit. Genau diese Kompetenz ist die, die mir am meisten Freude bereitet bei der Arbeit. Ich habe schon öfters solche Projekte umgesetzt, meistens aber auf dem Elterlichen Bauernhof. Das Nächste, was in meinem Kopf entsteht, ist ein Buggy aus einem alten Motorrad.

Prozess 12: Baugruppen und Maschinen konstruieren

Die Kompetenz zu konstruieren, ist die die ich am meisten während des Studiums ausgebaut habe. Dies vor allem in meinem Arbeitsumfeld, da brauche ich täglich SolidWorks und konstruiere Geländer, Treppen etc. So kann dem Kunden ein schönes 3D Modell gezeigt werden, bevor es in die Produktion übergeht.

Prozess 13: Produktion leiten

Die Produktionsleitung unterliegt mir seit anfangs 2025, somit ist es meine Aufgabe zu schauen, dass der Laser insofern möglich ständig am Laufen ist und produziert, sowie, dass die Mitarbeiter immer Arbeit haben und auch die Teileauslieferung fristgerecht erfolgt.

Prozess 14: Anlagen betreiben und unterhalten

Die zwei Hauptanlagen im Betrieb sind der Laser und die Abkantpresse. Ich schaue, dass diese richtig gewartet werden und leite neue Personen in die Anlagen ein, sodass sie Fachgerecht bedient werden.

Fazit:

In den letzten drei Jahren, habe ich viel gelernt. Fachlich wie auch persönlich, mir wurde im neuen jetzigen Betrieb sehr viel Verantwortung übergeben, was den Alltag sehr spannend macht. Die tägliche Arbeit wie das Problem lösen oder Menschen koordinieren, habe ich stark verbessert und fühle mich somit bereit für neue Herausforderungen als diplomierter Techniker HF Maschinenbau in Zukunft.

Protokoll für gesamte Bearbeitungszeit der Diplomarbeit:
Ausleger für eine Gülleverschlachtung

Datum [dd.mm.yy]	Art der Arbeit [Beschreibung der Arbeit]	Aufwand [h]	Person [Initialen]	Total JD [h]	Total MB [h]
30.05.2025	Besuch vor Ort (Massaufnahme)	6.0	JD	6.0	0.0
30.05.2025	Besuch vor Ort (Massaufnahme)	6.0	MB	6.0	6.0
03.06.2025	Dokumenterstellung Word	2.5	JD	8.5	6.0
06.06.2025	Aufgabenstellung beschreiben	3.0	JD	11.5	6.0
06.06.2025	Aufgabenstellung beschreiben	3.0	MB	11.5	9.0
12.06.2025	Terminplan via Teams erstellen	3.5	JD	15.0	9.0
12.06.2025	Terminplan via Teams erstellen	3.5	MB	15.0	12.5
13.06.2025	Pflichtenheft erarbeitet	3.0	JD	18.0	12.5
13.06.2025	Pflichtenheft erarbeitet	3.0	MB	18.0	15.5
18.06.2025	CAD bestehende Bauteile (Rad)	3.5	JD	21.5	15.5
19.06.2025	CAD bestehende Bauteile (Fass)	4.0	MB	21.5	19.5
19.06.2025	CAD bestehende Bauteile (Schleppfix)	4.5	JD	26.0	19.5
20.06.2025	CAD bestehende Bauteile (Schleppfix)	3.5	JD	29.5	19.5
25.06.2025	CAD Baugruppe Anhänger erstellen	4.0	JD	33.5	19.5
30.06.2025	CAD bestehende Bauteile (Arm)	5.5	MB	33.5	25.0
01.07.2025	CAD bestehende Bauteile (Arm)	3.5	MB	33.5	28.5
01.07.2025	Handskizzen erstellen	2.0	MB	33.5	30.5
08.07.2025	Handskizzen erstellen	3.0	JD	36.5	30.5
10.07.2025	Handskizzen erstellen	3.0	MB	36.5	33.5
11.07.2025	Ideenbesprechung / Lösungsansätze / Mindmap	3.5	JD	40.0	33.5
11.07.2025	Ideenbesprechung / Lösungsansätze / Mindmap	3.5	MB	40.0	37.0
16.07.2025	Nutzwertanalyse via Teams	4.0	JD	44.0	37.0
16.07.2025	Nutzwertanalyse via Teams	4.0	MB	44.0	41.0
18.07.2025	Nutzwertanalyse beschreiben in Word	4.0	MB	44.0	45.0
22.07.2025	Anschlüsse zeichnen (CAD)	4.0	JD	48.0	45.0
24.07.2025	Fixierung Fass zeichnen (CAD)	3.5	MB	48.0	48.5
25.07.2025	Hinterer Arm zeichnen (CAD)	6.5	MB	48.0	55.0
25.07.2025	Vorspannsystem zu Arm (CAD)	5.5	JD	53.5	55.0
26.07.2025	Hinterer Arm fertigzeichnen (CAD)	4.5	MB	53.5	59.5
28.07.2025	Word CAD Teile beschreiben	5.0	JD	58.5	59.5
29.07.2025	Federung (CAD)	5.5	JD	64.0	59.5
29.07.2025	Federung Belastungstest für Berechnung	3.5	MB	64.0	63.0
30.07.2025	Sicherungssystem (CAD)	3.5	MB	64.0	66.5
31.07.2025	Baugruppen Bearbeitung (CAD)	2.5	JD	66.5	66.5
31.07.2025	Word CAD Teile beschreiben	3.5	MB	66.5	70.0
31.07.2025	Transportbock (CAD)	3.5	MB	66.5	73.5
01.08.2025	Berechnung Feder + Skizzen + Text	4.0	JD	70.5	73.5
01.08.2025	Berechnung Feder + Skizzen + Text	4.0	MB	70.5	77.5
08.08.2025	Word Dokumentbearbeitung	6.0	MB	70.5	83.5
08.08.2025	Word Dokumentbearbeitung	6.0	JD	76.5	83.5
11.08.2025	Word Dokumentbearbeitung	4.0	MB	76.5	87.5
14.08.2025	Word Dokumentbearbeitung	3.5	JD	80.0	87.5
18.08.2025	CAD im belasteten Zustand	4.5	JD	84.5	87.5
20.08.2025	Word Dokumentbearbeitung	3.5	MB	84.5	91.0
20.08.2025	Word Dokumentbearbeitung	3.5	JD	88.0	91.0

21.08.2025	Word Dokumentbearbeitung	3.0	JD	91.0	91.0
22.08.2025	Besprechung mit Diplomcoach	1.5	MB	91.0	92.5
22.08.2025	Besprechung mit Diplomcoach	1.5	JD	92.5	92.5
29.08.2025	Berechnung Gewicht Gölleschlauch	3.5	JD	96.0	92.5
30.08.2025	Berechnung Gewicht Konstruktion	2.5	MB	96.0	95.0
31.08.2025	Berechnung Winkel Feder mit FEM	8.0	JD	104.0	95.0
01.09.2025	Berechnung Schraubenfestigkeit	2.5	MB	104.0	97.5
01.09.2025	Berechnung Momenten-Gleichung	2.0	JD	106.0	97.5
01.09.2025	Berechnung Lager	2.5	JD	108.5	97.5
02.09.2025	Teams Besprechung Berechnungen	4.0	MB	108.5	101.5
02.09.2025	Teams Besprechung Berechnungen	4.0	JD	112.5	101.5
08.09.2025	Berechnung Schraube (überarbeiten)	3.0	JD	115.5	101.5
08.09.2025	Word Dokumentbearbeitung	1.0	JD	116.5	101.5
09.09.2025	Lasern im Geschäft (Metalldienste)	5.5	MB	116.5	107.0
10.09.2025	Fertigung (Arm lang Zusammenbau)	4.5	MB	116.5	111.5
12.09.2025	Word Dokumentbearbeitung	7.0	MB	116.5	118.5
12.09.2025	Word Dokumentbearbeitung	7.0	JD	123.5	118.5
13.09.2025	Fertigung (Arm lang Zusammenbau)	6.5	MB	123.5	125.0
13.09.2025	Fertigung (Arm lang Zusammenbau)	5.5	JD	129.0	125.0
13.09.2025	Fertigung (Lagerbock + provisorischer Zusammenbau)	4.0	MB	129.0	129.0
13.09.2025	Fertigung (Lagerbock + provisorischer Zusammenbau)	4.0	JD	133.0	129.0
13.09.2025	Fertigung Federbock	2.5	MB	133.0	131.5
13.09.2025	Fertigung Federbock	2.5	JD	135.5	131.5
15.09.2025	Erster Test	3.5	MB	135.5	135.0
17.09.2025	Fertigung Transportbock	4.0	MB	135.5	139.0
19.09.2025	Vorbereitung verzinken	6.0	MB	135.5	145.0
19.09.2025	Vorbereitung verzinken	6.0	JD	141.5	145.0
20.09.2025	Transport Verzinkerei	3.0	MB	141.5	148.0
22.09.2025	Transport Verzinkerei	2.0	MB	141.5	150.0
22.09.2025	Zinkbearbeitung und Montagevorbereitung	3.5	MB	141.5	153.5
26.09.2025	Besprechung mit Diplomcoach	1.5	JD	143.0	153.5
26.09.2025	Besprechung mit Diplomcoach	1.5	MB	143.0	155.0
27.09.2025	Endmontage komplett	8.0	MB	143.0	163.0
27.09.2025	Endmontage komplett	8.0	JD	151.0	163.0
28.09.2025	Testfahrt final	4.0	JD	155.0	163.0
28.09.2025	Testfahrt final	4.0	MB	155.0	167.0
30.09.2025	Evaluierung (Teams Besprechung)	3.0	JD	158.0	167.0
30.09.2025	Evaluierung (Teams Besprechung)	3.0	MB	158.0	170.0
01.10.2025	Word Dokumentbearbeitung	4.0	JD	162.0	170.0
02.10.2025	Word Dokumentbearbeitung	2.0	JD	164.0	170.0
02.10.2025	Word Dokumentbearbeitung	2.0	MB	164.0	172.0
04.10.2025	Word Dokumentbearbeitung	7.0	JD	171.0	172.0
05.10.2025	Word Dokumentbearbeitung	3.0	MB	171.0	175.0
06.10.2025	Word Dokumentbearbeitung	4.0	JD	175.0	175.0
07.10.2025	Lebenslauf erstellen	4.5	JD	179.5	175.0
07.10.2025	Word Dokumentbearbeitung	3.5	MB	179.5	178.5
09.10.2025	Lebenslauf erstellen	2.0	MB	179.5	180.5
10.10.2025	Word Formatierung+ End Foto	6.5	JD	186.0	180.5
11.10.2025	Word Formatierung+ End Foto	7.5	MB	186.0	188.0