



Alexander Vorhofer, BSc

Entwicklung und Konstruktion einer automatisierten Anlage zum Aufwickeln von Spanplatten

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas

Institut für Fertigungstechnik

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am 16.9.2019

Alexander Vorhofer

Gender Erklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Masterarbeit die Sprachform des generischen Maskulinums angewendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Kurzfassung

Der Markt für Holzwerkstoffe ist hart umkämpft. Der Trend hin zu erneuerbaren Energien, etwa Biomasse-Heizkraftwerken und Pellets-Heizungen, führt zu einer gesteigerten Nachfrage nach dem Rohstoff Holz. Dadurch sind die Preise für den Rohstoff Holz in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Um konkurrenzfähig zu bleiben, muss jede Firma so effizient wie möglich fertigen, um die Produktionskosten möglichst gering zu halten. Weitere Einsparungen in der Produktion sind durch die Automatisierung von Prozessen möglich.

Die Firma Egger produziert am Standort Wörgl Holzwerkstoffe in verschiedensten Formen. Für einen Kunden werden die im Werk produzierten Spanplattenbahnen nicht geschnitten, sondern auf Haspeln gewickelt (bis zu 1400 m Länge) und so zum Kunden transportiert. Die aktuell zum Wickeln der Spanplattenbahn verwendete Anlage produziert große Mengen an Ausschuss, weist für das Bedienpersonal erhebliche Gefahren auf und benötigt viele manuelle Regeleinriffe. Deshalb soll ein neues Konzept entwickelt werden, welches einen höheren Automatisierungsgrad bietet, effizienter arbeitet und die Sicherheitsrisiken für das Bedienpersonal minimiert. Für das Wickeln wurde ein neues Konzept erarbeitet, mit dem die Platte ausschussfrei gewickelt werden kann. Dafür mussten auch Teilprobleme, wie das Trennen der Spanplatte, der Haspelwechsel oder der Wickelbeginn neu gelöst werden. Um sicherzustellen, dass die neu entwickelten Lösungsansätze auch funktionieren, wurden diese in Versuchen getestet. Zum Zwecke der CE-Kennzeichnung der neuen Anlage wurden sämtliche Funktionen einer Risikoanalyse unterzogen und so Maßnahmen zur Minderung oder Eliminierung bestehender Gefährdungen erarbeitet und umgesetzt.

Abstract

The market for timber products is highly competitive. The trend towards renewable energies, such as biomass plants or pellet heating systems, is leading to increased demand for wood as a raw material. As a result, prices for wood raw-material have risen significantly in recent years. In order to remain competitive, every company must manufacture as efficiently as possible in order to keep production costs as low as possible. Further savings in production are possible through the automation of processes.

The company Egger produces wood-based materials in various forms at the Wörgl site. For a customer, the chipboard produced in the factory is not cut but wound on coils (up to 1400 m in length) and transported to the customer. The system currently used for winding the chipboard produces large quantities of rejects, poses considerable risks for the operating personnel and requires many manual control interventions. Therefore, a new concept was developed which offers a higher degree of automation, works more efficiently and minimizes the safety risks for the operating personnel. To achieve this, partial problems such as cutting the chipboard, changing the coils or the start of the winding-process had to be solved. In order to ensure that the newly developed solutions also work, they were tested in trials. For the purpose of CE marking of the new system, all functions were subjected to a risk analysis and measures to reduce or eliminate existing hazards were developed and implemented.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Statutory Declaration	I
Kurzfassung.....	II
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis.....	IV
1. Einleitung	1
1.1. <i>Spanplattenherstellung</i>	1
2. Ausgangssituation.....	2
2.1. <i>Bestehende Wickelgestelle</i>	4
2.2. <i>Ablauf des Aufwickelns an der bestehenden Anlage</i>	5
2.3. <i>Motivation zur Neugestaltung der Aufwickelanlage</i>	9
2.4. <i>Wirtschaftlichkeitsberechnung</i>	10
2.5. <i>Ziel der Arbeit</i>	10
3. Konzeptionierung	10
3.1. <i>Anforderungen an die Anlage</i>	10
3.2. <i>Ablauf der Arbeit</i>	11
3.3. <i>CE-Kennzeichnung</i>	12
3.4. <i>Einteilung in Teilfunktionen</i>	17
3.5. <i>Versuchsaufbau Platte Trennen</i>	20
3.6. <i>Versuchsaufbau zum Wickeln der Platte</i>	24
3.6.1. <i>Versuchsablauf</i>	24
3.6.2. <i>Getestete Varianten:</i>	26
4. Neues Anlagenkonzept.....	31
4.1. <i>Prozessablauf Wickeln neu</i>	31
4.2. <i>Gesamtkonstruktion</i>	34
4.3. <i>Unterbaugruppen</i>	36

4.3.1.	Gestell	36
4.3.2.	Abweiser:	39
4.3.3.	Andrückzylinder	40
4.3.4.	Schneidaggregat	42
4.3.5.	Haspelantrieb.....	46
4.3.6.	Haspelwelle.....	48
4.3.7.	Einführarm	49
4.3.8.	Selbstklemmende Klemmpratzen	53
4.3.9.	Vorrichtung zum Klemmen der Platte auf der fertig gewickelten Haspel	55
4.3.10.	Hinteres Vorschubaggregat	57
4.3.11.	Begehung	58
5.	Zusammenfassung und Ausblick	60

1. Einleitung

Geschichte der Spanplattenherstellung

Bereits um 1910 gab es erste Patente zur Herstellung von Spanplatten. Die industrielle Fertigung begann erst in den 1940er Jahren. Nach dem zweiten Weltkrieg gelang es der Spanplatte das bis dahin verwendete Massivholz im Möbelbau immer weiter zurückzudrängen. Mittlerweile werden Spanplatten auch als Innenausbaumaterial, Eingangsmaterial für die Fußbodenproduktion und Unterkonstruktionen verwendet. Die deutsche Spanplattenproduktion erreichte im Jahr 2010 die Marke von 6,5 Mio. m³, was in etwa einem Fünftel der europäischen Produktionsmenge entspricht. Österreich produzierte im Jahr 2010 1,830 Mio. m³ Spanplatten. Der Hauptabnehmer für Spanplatten in Europa war im Jahr 2010 die Möbelindustrie, die 70 % des Verbrauches für sich beanspruchte. Die Bauindustrie, inklusive Türen und Bodenbeläge, war mit 22 % des Gesamtvolumens der zweitgrößte Abnehmer. Die Spanplattenbahnen, die in dieser Arbeit betrachtet werden, werden ebenfalls für die Fußbodenproduktion verwendet. Durch die verstärkte Nutzung von Holz als Energieträger in Biomasse-Heizkraftwerken kam es in den vergangenen Jahren nach Angabe der Branche zu einer Verknappung an Holzrohstoffen und somit zu einer Preissteigerung in diesem Segment.¹

1.1. Spanplattenherstellung

Als Rohmaterial für die Herstellung von Spanplatten dienen hauptsächlich Holzreste, Sägemehl oder auch Recyclingholz. Mittels Radlader wird das Holz am Holzplatz entnommen und dem Zerkleinerer zugeführt. Anschließend durchläuft das zerkleinerte Holz einen Trommeltrockner, worin es mit Heißluft getrocknet wird. Nun wird das zerkleinerte Holz in verschiedene Größen sortiert und in Bunkern gelagert. Je nach Rezeptur wird das Rohmaterial von dort entnommen, beleimt und in die Streumaschine eingebracht. Das in Abbildung 1 gezeigte Schema ist stark vereinfacht, um die wesentlichen Produktionsschritte zu zeigen. In der Streumaschine wird das Material auf das sich bewegende Stahlband (bis zu 18 m/min) gestreut. Begonnen wird mit einer feineren Deckschicht, in der Mitte folgt gröberes Material und am Ende wird wieder feineres Material aufgestreut. Durch diesen Materialmix erhält die Spanplatte eine über den Querschnitt unterschiedliche Dichte. Das Stahlband läuft mit dem darauf befindlichen Streukuchen zwischen Einlaufwalze und Heitztrommel (Temperatur ca. 270°C) hindurch und wird so zur

¹ Vgl. Svehla/Winter (2013), S. 55.

Platte gepresst. Durch die Temperatur beginnt der Leim zu reagieren und so hat die Platte bereits bei Verlassen der Heiztrommel annähernd Endfestigkeit erreicht. Die Spaltdicke zwischen Einlaufwalze und Heiztrommel ist mitentscheidend für die spätere Plattendicke. Anschließend durchläuft die Spanplatte verschiedene Fräs- und Schleifaggregate. In der Säge wird die Spanplatte längs und quer in das benötigte Format geschnitten. Anschließend durchläuft die Spanplatte eine Wendemaschine und wird am Ende mit anderen Platten zu Paketen gestapelt oder auf Haspeln aufgewickelt.

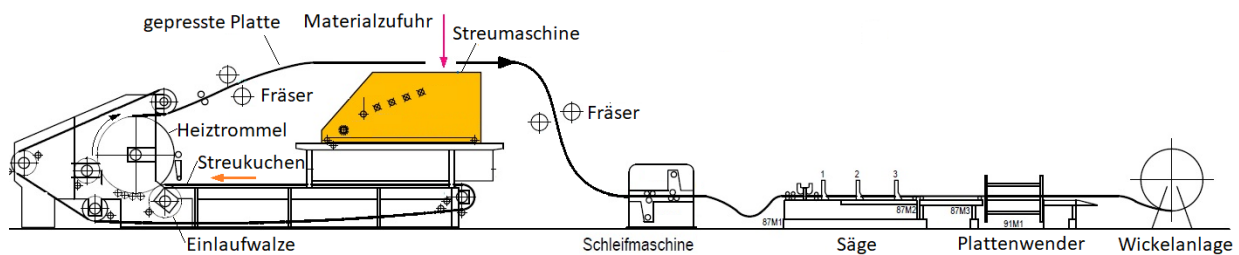


Abbildung 1: Schema Spanplattenproduktion, Quelle: int. Dok. Fa Egger (modifiziert)

2. Ausgangssituation

Für einen Kunden fertigt die Firma Egger am Standort Wörgl Spanplatten mit einer Dicke von 2 mm bis 6,7 mm und wickelt diese für den Transport auf Haspeln. Je nach Dicke können bis zu 1400 Meter Spanplatte auf eine Haspel gewickelt werden. Das Gewicht einer vollen Haspel beträgt bis zu 4500 kg. Diese Haspeln werden dann mittels LKW oder Bahn zum Kunden transportiert und dort direkt in dessen Anlage von der Haspel abgewickelt und verarbeitet. Leere Haspeln werden zerlegt und wieder nach Wörgl zur Firma Egger transportiert. Dort werden diese wieder zusammengebaut und erneut mit Spanplatten bewickelt. Da die Haspeln auch direkt in den Anlagen des Kunden verwendet werden, können an diesen keine Änderungen vorgenommen werden. Für das Aufwickeln der Spanplatte auf die Haspel gibt es bereits bestehende Aufwickelgestelle (Abbildung 2). Dies sind transportabel, da an diesem Platz sonst automatisch durch einen Roboter oder manuell die Abstapelung von Sonder-Plattenformaten stattfindet.

Die Haspel (Abbildung 3) besteht aus zwei Seitenteilen, die mit zwölf Stäben verschraubt sind. Das Seitenteil ist ein Ring aus einem gerollten U-Profil, welches mit U-Profil-Speichen verschweißt ist. Durch den groben Transport mit dem Stapler sind viele Haspeln verformt und laufen nicht einwandfrei rund. Ähnlich einem Achter beim Fahrrad haben viele Haspeln einen Seitenschlag von bis zu 2 cm und laufen bei Rotation unruhig. Dies muss bei der Konstruktion

der neuen Anlage ausgeglichen werden können. Insgesamt befinden sich ca. 50 Haspeln im Kreislauf zwischen Kunde und der Produktion im Werk Wörgl.

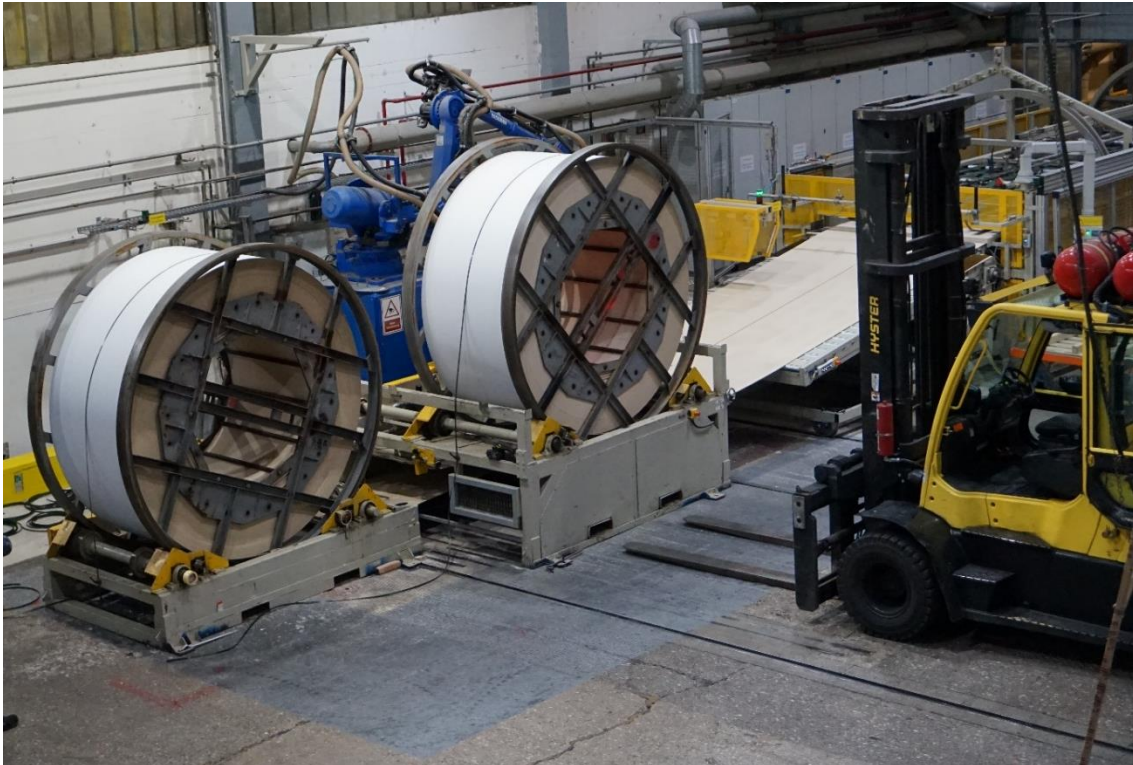


Abbildung 2: Bestehende Wickelgestelle, Quelle: Eigene Darstellung.

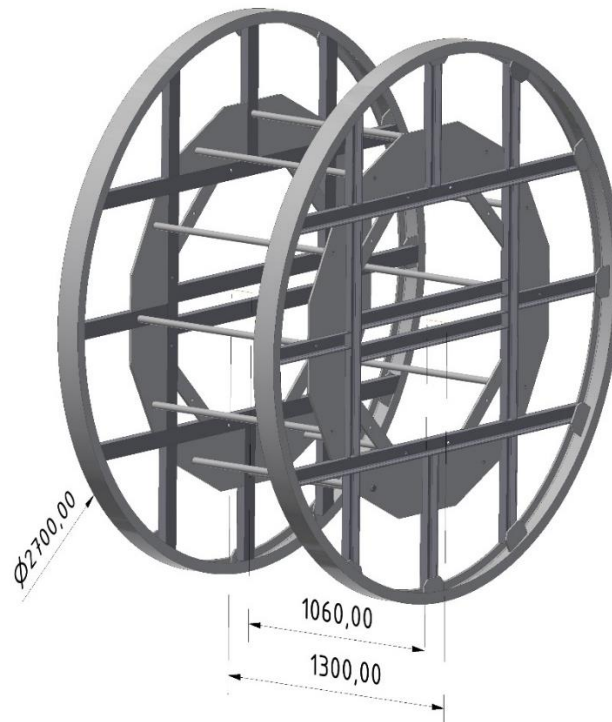


Abbildung 3: CAD-Modell Haspel mit Abmessungen mm, Quelle: Eigene Darstellung.

2.1. Bestehende Wickelgestelle

Abbildung 4 zeigt die derzeitigen Wickelgestelle antriebsseitig. Das Wickelgestell besteht aus einem geschweißten Stahlformrohrrahmen mit Blechschächten, die der Aufnahme der Staplerzinken für den Transport dienen [5]. Die Lagerböcke sind direkt mit dem Gestell verschraubt und lagern die Wellen [4], auf denen die Haspeln auf kunststoffummantelten Stahlrädern laufen. Als Antrieb dient ein Pneumatikmotor [1], welcher über Ketten die Wellen antreibt. Der Druckluftmotor wird über eine Wartungseinheit mit Druckminderer [2] gespeist. Über den Luftdruck lässt sich an der Wartungseinheit das Moment des Druckluftmotors und somit die Spannung der Spanplatte beim Aufwickeln einstellen. Die seitliche Führung der Haspel übernimmt ein Druckluftzylinder [3], der über eine Rolle auf den Außenring der Haspel wirkt. Der Ring an der anderen Seite der Haspel stützt sich wiederum an Laufrollen ab, wodurch eine Zwangsführung entsteht. Die Gestelle stehen direkt auf dem Betonboden und werden über Stifte positioniert. Der Hallenboden ist uneben, weshalb jedes Gestell mit Holzkeilen unterstützt werden muss. Als Sicherheitstechnik ist ein Not-Halt Schalter vorhanden, der das Gestell vom Druckluftnetz trennt. Wird dieser betätigt, läuft die Haspel durch den Widerstand des Druckluftmotors gebremst aus.



Abbildung 4: Wickelgestell Antriebsseitig, Quelle: Eigene Darstellung.

2.2. Ablauf des Aufwickelns an der bestehenden Anlage

In Abbildung 6 wird der derzeitige Ablauf des Wickelns an der Bestandsanlage dargestellt. Der Ablauf wird erst ab der Zuführung der Platte betrachtet, da erst ab hier die für das Aufwickeln relevanten Arbeitsschritte stattfinden. Am Ende der Produktionsanlage für Spanplatten befindet sich ein Sägeaggregat, welches die Spanplatte von einer Breite von ca. 2060 mm in zwei Streifen mit jeweils 1030 mm längs auftrennt. Diese zwei Streifen werden anschließend durch den Plattenwender (Abbildung 7, Nr.5) über den Schrägtisch (Abbildung 7, Nr.4) zu den versetzt angeordneten Aufwickelgestellen (siehe dazu Abbildung 7, Nr.1&3 und Abbildung 5) geführt. Dort wird von einem Arbeiter jeweils ein Stahlhaken in jede Bahn eingeschlagen und unter dem jeweiligen Aufwickelgestell durchgeführt. Dann nimmt ein anderer Arbeiter die Bahn auf und hängt diese am Haken in die Querstäbe der leeren, rotierenden Haspel ein. Währenddessen regelt ein weiterer Arbeiter die Rotationsgeschwindigkeit der Haspel, indem er manuell den am Druckminderer eingestellten Druck ändert. Nun werden ca. 4 Windungen aufgewickelt, woraufhin ein Arbeiter versucht den Haken zu lösen. Dies muss geschehen, so lange sich nur wenige Windungen auf der Haspel befinden, da dies mit zunehmender Windungszahl erschwert wird. Am zweiten Aufwickelgestell laufen die Vorgänge parallel ab und benötigen jeweils einen Arbeiter zur Geschwindigkeitsregelung der Haspel und einen zum Einhängen der Bahn in die Haspel. Bis nun eine Haspel voll-gewickelt ist und ausgewechselt werden muss, dauert es ca. 40 Minuten. In dieser Zeit bereiten sich die Arbeiter wieder auf den Haspelwechsel vor und ein Arbeiter beaufsichtigt das Wickeln und nimmt kleinere Regeleingriffe vor. Die bereits aufgewickelte Länge wird über einen Wegmesssensor gemessen und daraus die noch zu wickelnden Laufmeter errechnet. Dieser Wert wird den Arbeitern auf einer Anzeige dargestellt. Sind die Haspeln voll, müssen diese gegen leere ausgetauscht werden.

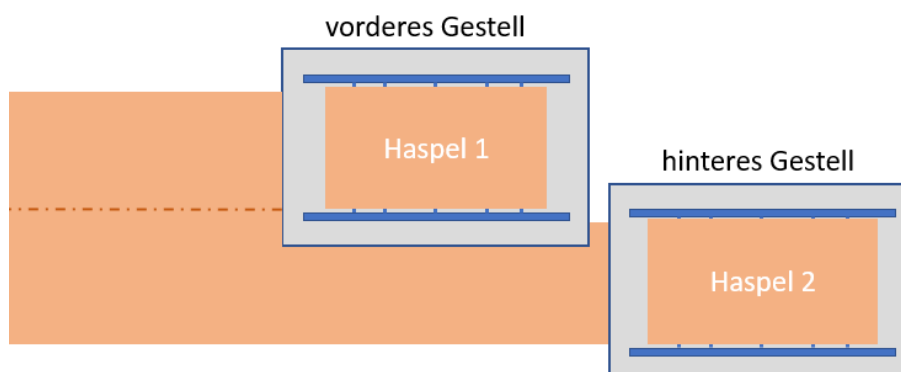


Abbildung 5: Schema der aktuellen Wickelanlage, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Produktion einer Spanplatte (Kap. 1.1) ist ein stetiger Prozess und kann deshalb für den Wechsel der Haspeln nicht angehalten werden. Deshalb müssen die Haspeln beim derzeitigen

Wickelprozess während der laufenden Produktion gewechselt werden. Um die Arbeiter beim Haspelwechsel nicht zu behindern, schneidet die Säge kontinuierlich Streifen von 1 m Länge. Diese Streifen werden während des gesamten Wechselsvorganges von einem Arbeiter entnommen, auf einen Haufen gestapelt und sind Ausschuss. Um die Ausschussmenge zu minimieren wechseln die Arbeiter die Haspeln möglichst schnell, woraus auch ein gewisser Zeitdruck resultiert. Die währenddessen produzierten Platten werden zerhackt und wieder dem Produktionskreislauf zugeführt. Daten zur Dauer des Haspelwechsels und die damit verbundenen Kosten für Ausschussmaterial sind in Kap. 2.4 angeführt.

Der Wechsel der Haspel geschieht folgendermaßen:

Mittels Schnitt an der Säge wird die Plattenbahn jeweils abgetrennt. Nun wird die Haspel auf maximale Geschwindigkeit beschleunigt um den Rest der Platte möglichst schnell aufzuwickeln. Ein Arbeiter drückt währenddessen mit seinen Händen auf die Platte, damit diese straff auf der Haspel bleibt. Sobald das Plattenende die Haspel erreicht, wird gestoppt und manuell mit einem Plastikband umreift und so ein Abwickeln der gewickelten Spanplatte verhindert. Mit zwei Staplern [Abbildung 7 Nr.6] werden zeitgleich die vollen Haspeln gegen leere ausgetauscht. Anschließend kann mit dem Wickeln von Neuem begonnen werden.

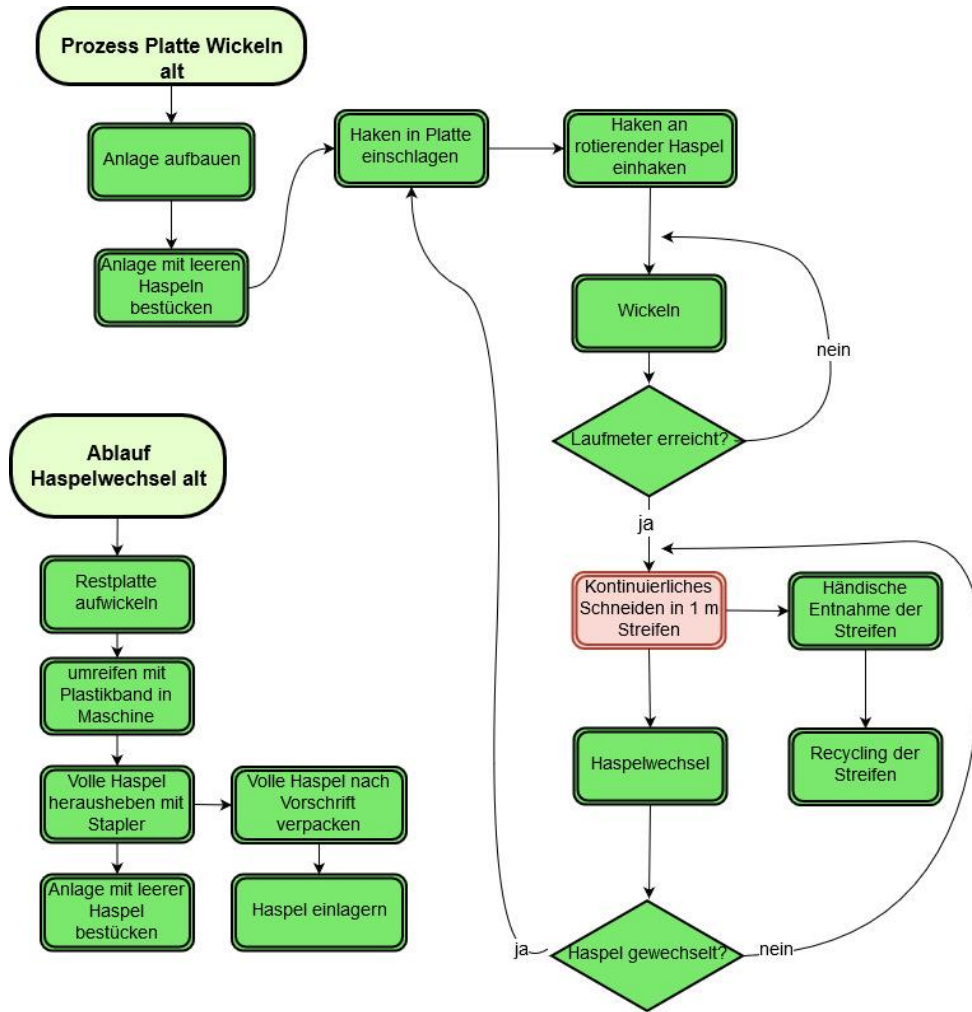


Abbildung 6: Schema - Wickeln an der Bestandsanlage, Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 7: Wickeln der Platte; kurz vor dem Haspelwechsel, Quelle: Eigene Darstellung.

Während die Anlage die Platte wickelt, ist eine Arbeitskraft nötig, die kleinere Regeleingriffe vornimmt. Beim Wechsel der Haspeln sind jedoch bis zu sechs Personen involviert, da aktuell viele Arbeitsschritte parallel geschehen müssen, um die Haspeln möglichst schnell zu wechseln und so die Ausschussmenge möglichst gering zu halten. Dies führt zu einer ungleichmäßigen Auslastung der Arbeitskräfte.

Durch Analyse der bestehenden Anlage und Gespräche mit Bedienern konnten folgende Vor- und Nachteile der bestehenden Anlage herausgearbeitet werden:

Vorteile:

- Für Inbetriebnahme ist nur Anschluss an das Druckluftnetz nötig- einfacher Aufbau
- Einfach mit dem Stapler transportierbar
- Einfacher und robuster Aufbau
- Relativ kompakt und leicht (u.a. bedingt durch den geringen Funktionsumfang)
- Eingriffe bei Fehlfunktion einfach möglich
- Geringer Wartungsaufwand

- Aufwickeln läuft zufriedenstellend, sofern die Gestelle innerhalb der Toleranzen ausgerichtet sind

Nachteile:

- Produktion von Ausschuss während des Haspelwechsels
- Ausführung des Haspelwechsels unter Zeitdruck
- Bedienung birgt sehr große Sicherheitsgefahren für das Bedienpersonal
- Sicherheitstechnik veraltet
- Sehr viele Bedieneingriffe nötig
- Keine Automatisierung
- Beim Wickelbeginn und Haspelwechsel werden ca. 5 Personen benötigt
- Genaue Ausrichtung der Gestelle nötig
- Wickelgestelle stehen nicht satt am Boden und wackeln leicht, wenn sie nicht eingekellt werden
- Wirkungsgrad des Druckluft Antriebs
- Beim Wickeln sind ständig manuelle Eingriffe nötig

2.3. Motivation zur Neugestaltung der Aufwickelanlage

Der Hauptgrund, für die Neuentwicklung der Wickelgestelle, ist sicherlich die Gefährdung, die beim Betrieb der aktuellen Anlage für die Bediener besteht. Die bestehende Anlage ist nicht mehr am Stand der Technik. Auch wirtschaftlich ist die aktuelle Lösung nicht optimal, da beim Haspelwechsel viel Ausschuss entsteht. Das Bedienpersonal ist mit Aufgaben beschäftigt, die sich mit geringem Aufwand automatisieren lassen. So ergibt sich ein weiteres Einsparungspotential. Weitere Verbesserungen sind sicherlich in der Arbeitsergonomie möglich.

2.4. Ökonomische Betrachtung

Anhand der Produktionsdaten vom Sonntag den 17.3.2019 wurden die Ausschussmengen ermittelt. So dauerte der durchschnittliche Wechsel an diesem Tag 3:53 Minuten und dabei wurden 0,41 m³ an Ausschuss produziert. So betragen die durchschnittlichen Kosten pro Wechsel 136 Euro. Im Jahr 2018 wurden etwa 1000 Haspeln gewickelt. Da pro Wechsel zwei Haspeln gewechselt werden, ergeben sich ca. 500 Wechsel pro Jahr. Somit ergeben sich Kosten von 70.000 Euro pro Jahr für die rohen produzierten Ausschussplatten. Dies entspricht wöchentlich ca. 1.350 Euro an Ausschusskosten für die Rohspanplatten. Zusätzlich werden auf manchen Varianten der Platten Dekore aufgebracht. Um ein Aufbiegen der Platte durch die einseitig eingebrachte Spannung des Dekors zu verhindern, muss auch ein Gegenzug aus Papier aufgebracht werden. Die Kosten für Dekor und den Gegenzug aus Papier auf dem Ausschussmaterial belaufen sich jährlich auf etwa 10.000 Euro. Weitere Einsparungen wären etwa beim Arbeitspersonal denkbar, da die aktuelle Anlage nur sehr arbeitsintensiv (siehe dazu Seite 8) betrieben werden kann.

2.5. Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Konzepts für die neue Aufwickelanlage und die Durchführung der nötigen Tests, um die Funktionen der neuen Anlage zu garantieren. Die Zuführung der Plattenstreifen zur Anlage ist nicht Teil der Aufgabenstellung. Im Anschluss an die Konzeptfindung wird das vielversprechendste Konzept näher ausgearbeitet und den zuständigen Personen präsentiert. Da die Anlage CE zertifiziert werden soll, wird parallel dazu eine Risikoanalyse durchgeführt. Darauffolgend wird das Konzept weiter detailliert und auskonstruiert. Diese Konstruktion soll später als Grundlage für eine Abschätzung der Projektkosten dienen, deren Ermittlung, wie auch die Planung der elektrischen Anlage, nicht Teil der Arbeit ist. Die Ergebnisse und nötigen Änderungen aus der Risikoanalyse sollen in der Konstruktion umgesetzt werden. ist

3. Konzeptionierung

3.1. Anforderungen an die Anlage

Gleichzeitiges Aufwickeln zweier Plattenstreifen mit den bekannten Daten auf die bereits vorhandenen Wickelhaspeln. Während des Haspelwechsels soll in Zukunft kein Ausschuss produziert werden. Der Haspelwechsel soll von den Arbeitern ohne Zeitdruck und ohne einen Gefahrenbereich zu betreten ausgeführt werden. Für das Einfädeln bei Wickelbeginn soll eine Lösung

erarbeitet werden. Um die aufgewickelte Spanplatte auf der fertig gewickelten Haspel zu fixieren, kann der Arbeiter die Anlage betreten um diese für das Herausheben mit dem Stapler provisorisch zu fixieren. Wenn die Haspel herausgehoben und am Boden abgestellt wurde, können die Arbeiter diese, wie in den Lieferbedingungen mit dem Kunden vereinbart, fixieren. Da diese Anlage der Maschinenrichtlinie entsprechen und CE zertifiziert werden soll, muss im Konstruktionsprozess auch darauf Rücksicht genommen werden.

Dieser Bereich wird, sofern nicht auf Haspeln gewickelt wird, anderweitig genutzt, weshalb die zu entwerfenden Gestelle transportabel sein müssen. Die bestehenden Gestelle sind für die Lagerung stapelbar. Dies soll auch beim neuen Konzept möglich sein.

3.2. Alternative Nutzungen des Anlagenbereichs:

Abstapelung mittels Roboter:

Ein Industrieroboter greift die Platte von einem höhenverstellbaren Tisch und zieht sie mit Hilfe eines Vakuumbreifers auf den Stapel. Da der Stapel ständig wächst, wurde in einem vorangegangenen Projekt ein höhenverstellbarer Tisch entwickelt, so dass die Platten horizontal auf den Stapel gezogen werden können. Wenn nicht mit dem Roboter gestapelt wird, befindet sich dieser in Ruheposition und der oben genannte Tisch kann bis an die Wand zurückgefahren werden.

Händische Abstapelung:

Spezielle Plattenformate werden von den Arbeitern manuell gestapelt. Da dieser Platz auch in Zukunft für diese Arbeiten zur Verfügung stehen soll, muss die erarbeitete Lösung transportabel sein und von einem Stapler in einen bestehenden Lagerplatz eingelagert werden können.

3.3. Ablauf der Arbeit

Die Aufgabenstellung wird in Teilgebiete zerlegt und für jedes Teilgebiet werden Lösungsmöglichkeiten erarbeitet. Lösungsmöglichkeiten werden etwa in der Literatur oder bei artverwandten Maschinen gesucht. Die gefundenen Lösungsmöglichkeiten werden in einem Team besprochen und bewertet. Sofern nicht sicher ist, ob eine Lösungsvariante funktioniert, wird dies in einem Versuch oder einer Simulation geklärt. Ist ein Gesamtkonzept erarbeitet, wird dieses konstruiert und parallel dazu eine Risikoanalyse für die benötigte CE-Kennzeichnung erstellt. Die nötigen Änderungen aus der Risikoanalyse heraus sollen Eingang in die Konstruktion finden.

3.4. CE-Kennzeichnung

Die CE-Kennzeichnung ist seit 1. Jänner 1995 für Maschinen, Spielzeuge, Medizinprodukte, Explosivstoffe, Messgeräte und viele andere Dinge., die in die EU importiert oder in Verkehr gebracht werden, durchzuführen. CE steht dabei für „Communauté Européenne“, also Europäische Gemeinschaft. Durch anbringen des CE-Zeichens erklärt ein Hersteller, dass er bei Entwicklung und Bau alle zutreffenden Normen und Vorschriften eingehalten hat. Ziel der Kennzeichnung von Produkten in der EU ist der Abbau von Handelshemmnissen und ein Mindestniveau an Sicherheit für den Anwender. Die Konformitätsbewertung ist dabei vom Hersteller, oder auch dem Importeur durchzuführen. Für bestimmte Maschinentypen gibt es genaue Normen, an die sich ein Hersteller halten kann. Nach der betreffenden Norm erstellte Maschinen haben den Vorteil, dass sie auf jeden Fall die grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Maschinenrichtlinie erfüllen. Im Fall der Aufwickelanlage für Spanplatten gibt es keine spezifischen Normen.

Vorgehensweise bei der CE-Kennzeichnung:

- Konformitätsbewertungsverfahren durchführen
- Technische Unterlagen erstellen
- Bedienungsanleitung erstellen
- Konformitätserklärung ausstellen
- CE-Kennzeichnung anbringen

Risikobeurteilung und Risikominderung nach DIN EN ISO 12100:

Bereits in der Konstruktionsphase der Maschine muss eine Risikoanalyse durchgeführt und dokumentiert werden. Als erster Schritt müssen die Grenzen der Maschine und die bestimmungsgemäße Verwendung festgelegt werden. Anschließend werden mögliche Risiken aufgezeigt und eine Risikoabschätzung durchgeführt. Mögliche Risiken sind etwa in der DIN EN ISO 12100 Anhang B1 angeführt. In dem Auszug der Risikobewertung aus Tabelle 1 sind die Risiken mit der Nr.1 markiert. Mit den festgestellten Risiken wird anschließend eine Risikoein-

schätzung durchgeführt. Dabei wird jedes Risiko anhand von Schadensschwere und der Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet. Dazu wurde eine Risikomatrix² herangezogen (siehe Abbildung 8). In den Zeilen wird die Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten Gefährdung ausgewählt. In den Spalten wird die mögliche Schadensschwere dieser Gefährdung gewählt. Der Schnittpunkt ergibt eine Risikomaßzahl bzw. eine Einschätzung des Gefahrenpotenzials.

Eintrittswahrscheinlichkeit \ Schadensschwere	Keine gesundheitlichen Folgen A		Bagatelldfolgen (die Arbeit kann fortgesetzt werden) B		Mäßig schwere Folgen (Arbeitsausfall, ohne Dauerschäden) C		Schwere Folgen (irreparable Dauerschäden möglich) D		Tödliche Folgen E	
fast unmöglich 1	extrem gering 1	extrem gering 1	sehr gering 2	eher gering 3	mittel 4	hoch 5	sehr hoch 6	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7
vorstellbar, aber unwahrscheinlich 2	extrem gering 1	sehr gering 2	eher gering 3	mittel 4	hoch 5	sehr hoch 6	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7
gelegentlich möglich 3	sehr gering 2	eher gering 3	mittel 4	hoch 5	sehr hoch 6	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7
gut möglich 4	sehr gering 2	mittel 4	hoch 5	sehr hoch 6	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7
fast gewiss 5	sehr gering 2	mittel 4	hoch 5	sehr hoch 6	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7	extrem hoch 7

Abbildung 8: Risikomatrix, Quelle: Univers. Konstanz: *Risikomatrix*

Die Matrix teilt das Risiko in sieben Stufen (Risikomaßzahlen) ein:

- 1, 2 Akzeptanzbereich [grün] – geringes Gefahrenpotenzial
- 3, 4 Risikobereich [gelb] – besorgniserregendes Gefahrenpotenzial
- 5, 6, 7 Gefahrenbereich [rot]- nicht akzeptierbares Gefahrenpotenzial

² Vgl. Neudörfler (2016) S. 150.

Abbildung 9 zeigt anschaulich die Beziehung zwischen Risiko, Gefahr und Sicherheit.

Dabei sind verschiedene Begriffe zu definieren:³

Als Grenzkisiko bezeichnet man das größte noch vertretbare Risiko eines bestimmten technischen Vorgangs oder Zustands. Im Allgemeinen lässt sich das Grenzkisiko nicht quantitativ erfassen. Es wird in der Regel indirekt durch sicherheitstechnische Festlegungen beschrieben.

- Als Gefahr wird die Sachlage definiert, bei der das Risiko größer als das Grenzkisiko ist.
- Als Sicherheit wird die Sachlage definiert, bei der das Risiko nicht größer als das Grenzkisiko ist.
- Restrisiko ist das verbleibende Risiko nach Abzug aller risikoreduzierenden Maßnahmen.

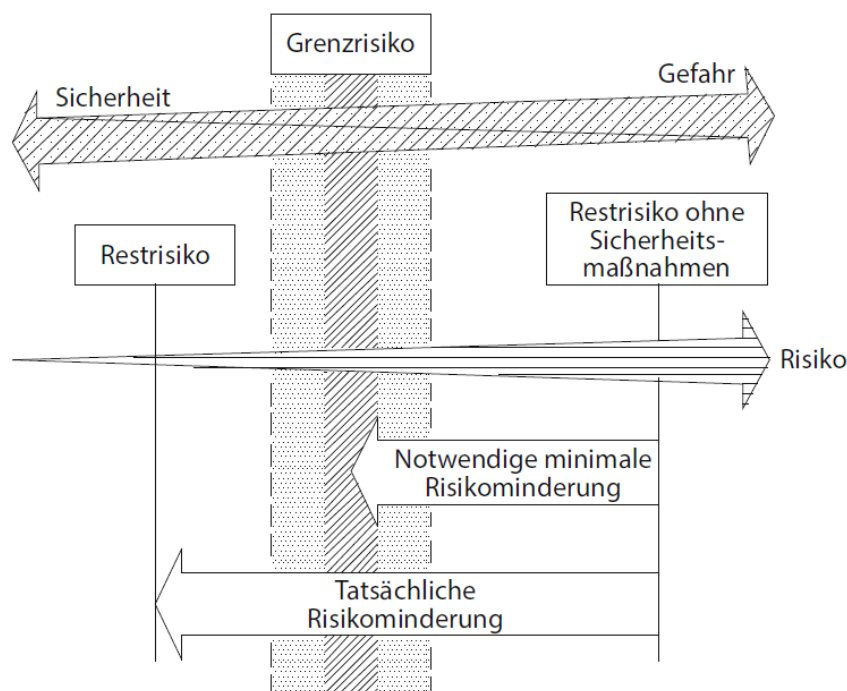


Abbildung 9: Schema für die Risikoeinschätzung, Quelle: Bernstein (2016), S.34

³ Bernstein (2016) S. 34.

Möglichkeiten, um das Risiko zu minimieren sind nach DIN EN ISO 12100⁴:

- Inhärent sichere Konstruktion:
 - z.B. das Abdecken des Haspelantriebs mit einem Schutzgitter
 - Die mögliche Gefahr wird von Anfang an vermieden.
- Technische Schutzmaßnahmen:
 - z.B. Abschaltung des Antriebs bei Betreten des Sicherheitsbereich
- Benutzerinformation
 - Der Benutzer wird über mögliche Restrisiken der Maschine aufgeklärt

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Risikoanalyse durch ein multidisziplinäres Team von Fachpersonal aus den Bereichen Konstruktion, Instandhaltung (Elektrik) und Maschinensicherheit durchgeführt. Die ebenfalls für die CE-Kennzeichnung benötigte Betriebsanleitung ist nicht Teil dieser Arbeit.

Diese Einschätzung der Risikomaßzahl mittels der Matrix (Abbildung 8) wurde für jedes gefundene Gefahrenpotenzial vorgenommen. Daraus erhält man die in Tabelle 3 dargestellte Matrixspalte „Risikomaßzahl vor Maßnahme“. Anschließend werden die oben unter DIN EN ISO 12100 erwähnten Maßnahmen herangezogen um das Risiko zu minimieren. Anschließend wird wieder eine Bewertung der Risikomaßzahl durchgeführt („Risikomaßzahl nach Maßnahme“ in Tabelle 3) und kontrolliert, ob die Maßnahme den gewünschten Effekt einer Risikominderung bringt. Ziel ist es die Risikomaßzahlen in einen akzeptablen Bereich zu bringen. Das bedeutet, dass vom ursprünglichen Gefahrenpotenzial nur noch ein hinnehmbares Restrisiko überbleibt. Die Gesamttabelle der Bewertung der Anlage mit den Ergebnissen ist im Anhang 1 der Arbeit angeführt.

⁴ Vgl. DIN EN ISO12100 (2011).

Tabelle 1: Ausschnitt der Ergebnisse aus der Risikolanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.

#	Gefahr	Schwere vor Maßnahme	Wahrscheinlichkeit vor Maßnahme	Risikomaßzahl vor Maßnahme	Maßnahme	Schwere nach Maßnahme	Wahrscheinlichkeit nach Maßnahme	Risikomaßzahl nach Maßnahme
1	Gefahr vor elektrischem Schlag.	E	3	6	Ausführung der elektrischen Anlagenteile nach gängigen Normen und Vorschriften. Regelmäßige Überprüfung der elektrischen Anlage durch interne und externe Fachkräfte.	E	1	4
2	Gefahr bei Ausfall der Sicherheitseinrichtung.	E	3	6	Einsatz von geeigneten Komponenten. Nachweis der Eignung hinsichtlich Performance Level (PL) oder SIL.	E	1	4
3	Gefahr durch Lärm.	D	3	5	Gehörschutztragepflicht in der gesamten Halle.	D	1	3
4	Gefahr durch Holzstaub.	D	2	4	Im Normalbetrieb wird an den staubbildenden Stellen der Staub abgesaugt und der Produktion als Rohstoff erneut zugeführt. Bei Arbeiten mit erhöhter Staubkonzentration werden Filtermasken getragen. Für schwere Reinigungsarbeiten stehen atemluftabhängige Filtergeräte zur Verfügung.	D	1	3

3.5. Einteilung in Teilfunktionen

Der gesamte Prozess wurde in Teilschritte eingeteilt. Anschließend wurden für alle Teilschritte Lösungsansätze erarbeitet und als Gruppe bewertet und besprochen. Hierbei musste darauf geachtet werden, dass die einzelnen Lösungsansätze miteinander kompatibel sind. Um die Gesamtlösung darzustellen, eignet sich der von Zwicky⁵ entwickelte morphologische Kasten.

Dieser ist aufgebaut wie eine Tabelle, in der in den Zeilen die einzelnen zu lösenden Teilfunktionen stehen. Rechts davon befinden sich die möglichen Lösungsmöglichkeiten. Die präferierten Teillösungen können so zu einer Gesamtlösung kombiniert werden. Der in dieser Arbeit entstandene morphologische Kasten ist in Abbildung 10 abgebildet. Die Teillösungen wurden im Team besprochen und bewertet. Die einzelnen präferierten Lösungsmöglichkeiten sind folgend kurz beschrieben.

Vorschub

Der Vorschub der Platte wird über eine gummierte Treibrolle, die über einen Elektromotor mit Winkelgetriebe angetrieben wird, realisiert. Bei der Auswahl der Komponenten sollen bereits in der Firma vorhandene Bauteile gewählt werden, um die Lagerhaltung von Ersatzteilen zu vereinfachen. Gespeist werden soll der Elektromotor mittels Frequenzumrichter. Somit lässt sich ein Geschwindigkeitsbereich von bis zu 20 m/s des Vorschubs abdecken. Die Anpressrollen bringen pneumatisch den nötigen Anpressdruck auf die Platte auf und sorgen so für den nötigen Anpressdruck zwischen Platte und Treibrolle.

Schnitt

Für Schnitt und Schachtwechsel soll ein Aggregat entwickelt werden, welches beide Funktionen vereint. Über die Vorschubeinheit wird die Plattenbahn für die Dauer des Schnitts gestoppt. Ein Durchhang bildet sich vor dem Aggregat. Der Schnitt erfolgt und das ganze Aggregat schwenkt, um die Platte anschließend in den jeweils anderen Schacht zu fördern. So wird die Platte an das jeweils andere Gestell geleitet. Als Schnitt soll die Platte mit einem Messer abgeschert werden. Ob ein Schnitt dieser Art möglich ist, wird in einem Versuch geklärt (Siehe dazu Seite 21). Die Anpressrollen drücken nur beim Wickelbeginn und beim Festhalten der Platte für den Schnitt auf die Platte. Im sonstigen Betrieb ist zwischen Treibrolle und Platte ein Spalt,

⁵ Vgl. Zwicky (1989), Seite 90 ff.

da beim Wickeln auch der Vorschubmotor nicht laufen soll. Ansonsten würde sich bei Berührung innerhalb kürzester Zeit eine Flachstelle auf der Treibrolle bilden.

Einfädeln

Über einen schwenkbaren Einführarm soll die Platte an die Haspel herangeführt werden. Die Haspel soll so ausgerichtet werden, dass die Platte in die Speichen geschoben werden kann. Um dies zu automatisieren, muss die Position der Haspel mittels Sensor detektiert werden können. Jetzt soll die Haspel beginnen zu rotieren, während mit dem Vorschub die Platte nachgeschoben wird. Möglichkeiten zum Halten der Platte auf der Haspel und wie der Einführarm ausgeführt sein muss, sollen im Versuch ermittelt werden.

Andrücken

Die letzte Rolle des Einführarms soll zwei Hauptaufgaben haben:

- Im Falle des Plattenbruchs das unkontrollierte Abwickeln verhindern.
- Dafür sorgen, dass die ersten Wicklungen möglichst kompakt gewickelt werden.

Aufwickeln

Das Aufwickeln soll drehmomentgesteuert passieren. Das erforderliche Drehmoment soll in der Steuerung in Abhängigkeit von der Plattendicke und Wicklungsanzahl auf der Haspel berechnet werden.

Haspelwechsel

Es soll mit einer vollen Haspel erprobt werden, ob es auch möglich ist, die wandseitige Haspel im Gestell aufzuheben und herauszufahren.

Fixieren der aufgewickelten Platte

Es soll ein Mechanismus konstruiert werden, mit dem es möglich ist, die Platte an der fertig gewickelten Haspel am selbständigen Abwickeln zu hindern.

Teilfunktion	Teillösung				
Vorschub der Platte	Vorschub aus Presse heraus	Treibrollen aktiv angetrieben	weiterschieben durch Linearachse		
Einfädeln der Platte in die Haspel	Umlaufendes Band/ Kette/ Rollen	Haken wie bisher	Einfädeln in Haspelquerstäbe	Haspelkern mit Klemmung	manuell
Andrücken & Absichern		eine Andrückrolle	mehrere Andrückrollen	Gleitarm	ohne Absicherung
Steuerung der Andrückrollen	keine: Feder /Dämpfer System	elektrisch	pneumatisch		
Antrieb Wickelgestell	Pneumatik	Elektrisch			
Schnitt der Platte	Messer	Walzenmesser	Kombimesser mit Umlenkstation	Schnitt mit Säge	
Umlenkung auf hinteres Gestell	Umlenkstation pneumatisch	Umlenkstation elektrisch			
Haspelwechsel	Schienensys. zum verfahren d. inn. Haspel	Hubsystem	Stapler	Kran	
Fixieren der aufgewickelten Platte	in Anlage Folie mitwickeln und dann nochmals umwickeln	Plastikband halbautomatisch	Verkleben	Plastikband manuell außerhalb Maschine	Klebeband

Abbildung 10: Morphologischer Kasten der Gesamtlösung, Quelle: Eigene Darstellung.

3.6. Versuchsaufbau Platte Trennen

Für den Haspelwechsel ist es nötig, die Plattenbahn zu trennen. Dies kann auf verschiedenste Arten geschehen. Die denkbaren Möglichkeiten wurden vorab bewertet, wobei das Brechen als vielversprechendste Variante bewertet wurde. Da zum Brechen von Platten keine Erfahrungen vorlagen, wurde ein Versuchsaufbau, wie er in Abbildung 11 dargestellt ist, geplant und gebaut.

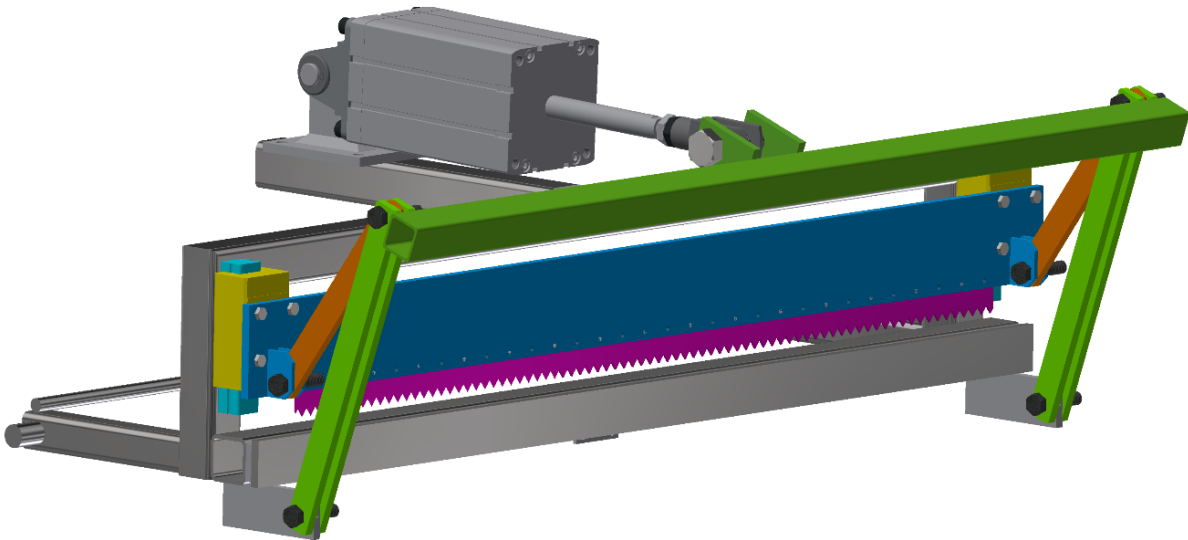


Abbildung 11: Ausgeführter Versuchsaufbau Schnittversuch, Quelle: Eigene Darstellung.

Versuchsaufbau:

Der Grundrahmen besteht aus Stahl-Formrohren durch den längs die Platte läuft. Die für die verschiedenen Versuche auswechselbare Schneide, ist auf einem Messerträger aufgeschraubt, welcher über Linearführungen geführt ist. Gegenüber dem Messer befindet sich der Schneidspalt. Über einen Kniehebel wird die Bewegung des Pneumatik-Zylinders umgelenkt und auf den Messerträger übertragen. Das Übersetzungsverhältnis des Kniehebels nimmt während der Bewegung stark zu, was auch zu einer beschränkten Hubhöhe des Messers führt.⁶ Die in der Kniehebelkinematik wirkenden Kräfte wurden analytisch berechnet (zu finden im Anhang 2: Berechnung Kniehebelkinematik), um einen Kraftverlauf über den Hub des Messers zu erhalten. Anschließend wurde der Versuchsträger gebaut.

⁶ Vgl. Brecher/Weck (2018), Seite 72

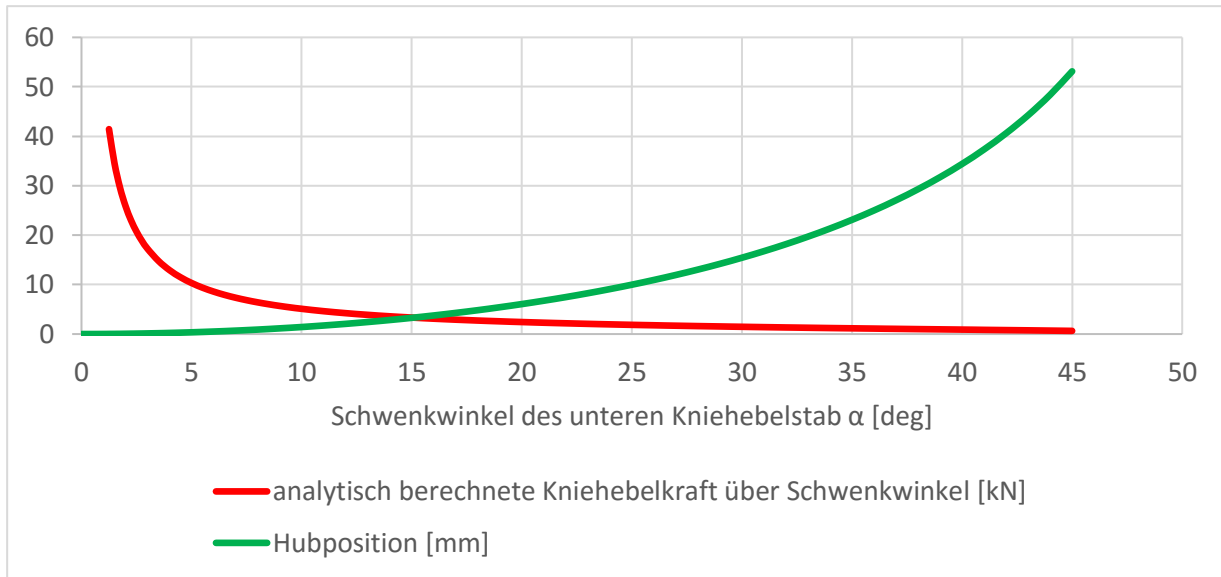


Abbildung 12: Berechnungsergebnisse zur Kinematik, Quelle: Eigene Darstellung.



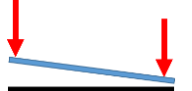
Möglichkeiten des Versuchsträgers

Mit dem Versuchsaufbau ist es möglich die verschiedenen Möglichkeiten für einen Schnitt der Platte (abgebildet in Tabelle 2) hinsichtlich benötigter Schnittkraft, Verschleiß des Messers und entstehender Verschmutzung zu vergleichen. Die benötigte Schnittkraft wurde aus dem benötigten Druck der Pneumatikzylinder und dem Übersetzungsverhältnis der Kinematik berechnet. Dabei wurde der Druck über den Druckminderer langsam erhöht, um Ergebnisse für den statischen Fall zu erhalten. Jeder Versuch wurde mehrmals wiederholt. Anschließend wurde der Bereich gesäubert und daraus die durchschnittliche Verschmutzung ermittelt.

Geprüft wurden drei Arten des Schnittes:

- I. Mit gezacktem Messer, welches bereits in einer ähnlichen Anlage zum Schneiden von Papier Verwendung findet.
- II. Gerades, beidseitig angeschliffenes Messer, welches parallel zur Platte schneidet.
- III. Gerades, beidseitig angeschliffenes Messer, welches schief montiert ist und so an einer Seite der Platte zuerst eintaucht.

Tabelle 2: Versuchsergebnisse Messervergleich, Quelle: Eigene Darstellung.

Messertyp	Var. I: gezackt	Var. II: Gerade und beidseitig ange-schliffen	Var. III: Gerade und beidseitig ange-schliffen
Bewegungsrichtung			
Verschmutzung in Gramm für 5 Schnitte	15	18	16
Benötigte Schnittkraft statisch Newton	6167	5519	4420

Versuchserkenntnisse:

Die benötigte Schnittkraft ist bei der **Variante III** am geringsten. Durch das ungleichmäßige Eintauchen der Schneide in die Platte verwindet sich der Mechanismus. Dadurch würden die Gleitlager in den Gelenken ungleichmäßig belastet, was sich nachteilig auf deren Lebensdauer auswirkt. Dadurch scheidet diese Variante aus.

Mit **Variante I**, der gezackten Schneide, sind keine Vorteile erkennbar. Bereits nach 15 Schnitten werden Abnützungen an den scharf geschliffenen Zahnspitzen des Messers erkennbar. Der Kreis in Abbildung 13 markiert eine der verbogenen Zahnspitzen des verwendeten Messers.



Abbildung 13: Detailaufnahme Messer, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Brechen mit gerader Schneide aus **Variante II** erweist sich als geeignete Methode, um in der späteren Anlage die Platte zu trennen. Der Versuch zeigt, dass die auftretende Verschmutzung bei allen Varianten in der gleichen Größenordnung liegt. Problematisch ist die Verschmutzung bei allen Varianten, da sich diese Teilchen sonst in die Oberfläche der Platte eindrücken könnten. Hier bieten sich etwa Bürstenleisten an, die den Schmutz von der Platte abkehren.

Die Linearführungen im Versuch sind abgedichtete, fettgeschmierte Kugelumlauf Führungen. Durch die Fettschmierung verbleibt auf den Führungsschienen ein Fettfilm, worauf sich Holzstaub sammelt, was in der späteren Anlage womöglich zu Lebensdauerproblemen führen würde. Hier sind schmiermittelfreie Kunststoff-Linearführungen besser geeignet. Abbildung 14 zeigt einen solchen Führungsschlitten des Herstellers IguS.



Abbildung 14: IguS Gleitlinearführung Bauform T, Quelle: Fa. IguS.

3.7. Versuchsaufbau zum Wickeln der Platte

Mit diesem Versuch werden die verschiedenen Möglichkeiten für den Wickelbeginn der Platte auf die leere Haspel untersucht. Die Herausforderung ist, dass sich die Platte erst nach mehreren gewickelten Lagen selbst auf der Haspel hält. Außerdem muss von Beginn an auf Zug gewickelt werden, da es sonst eventuell vorkommt, dass die gewickelte Platte zu taumeln beginnt. Die bisherige Lösung (Kap. 2.2) besteht darin, dass ein Arbeiter einen Haken in die Platte einschlägt und diesen dann wiederum an den Haspelstäben einhängt. Da dies sicherheitstechnisch bedenklich und auch nicht automatisierbar ist, soll hier eine neue Lösung gefunden werden.

3.7.1. Versuchsablauf

Bei diesem Versuch, welcher in Abbildung 15 dargestellt ist, wird die Platte mit einer Stärke von 4 mm von der vollen Haspel (Gestell 1) abgewickelt und am Gestell 2 aufgewickelt. Die Gestelle nehmen nur die Haspeln auf, der Vorschub wird über das Mangenaggregat realisiert. Das Mangenaggregat besteht aus der elektrisch angetriebenen Treibrolle und Andrückrollen, die ihre Kraft pneumatisch aufbringen. Zur Simulation des Einführarmes, der später die Platte an die Haspelstäbe heranführen soll, wurde dieser aus Holz nachgebaut und kann händisch geschwenkt werden.

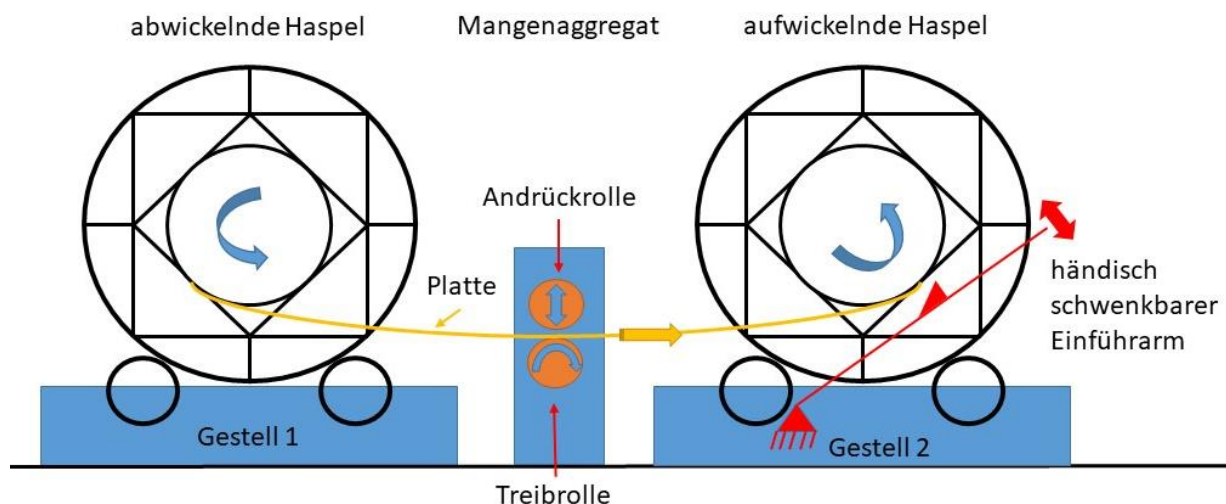


Abbildung 15: Versuchsaufbau zum Wickeln der Platte, Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 16 zeigt den realen Versuchsaufbau an dem die verschiedenen Varianten erprobt wurden.

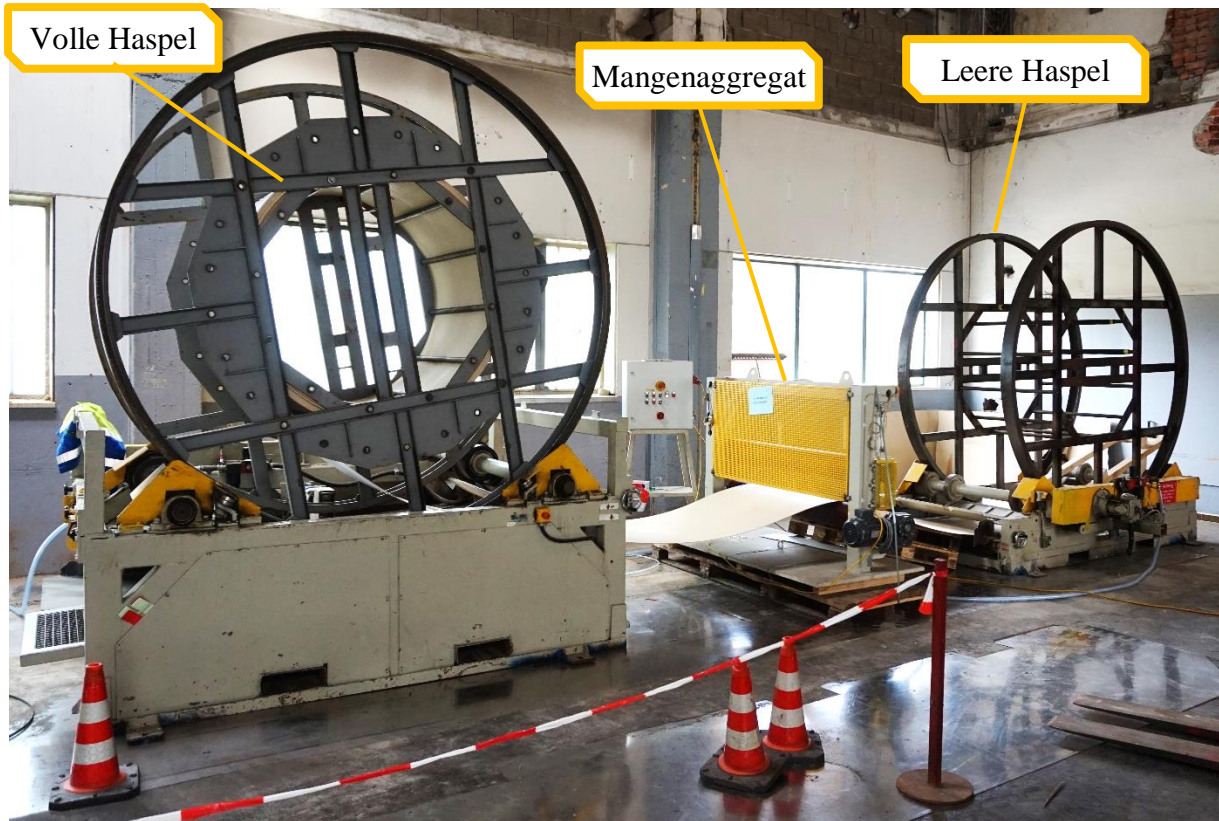


Abbildung 16: Versuchsaufbau Wickelbeginn, Quelle: Eigene Darstellung.

3.7.2. Getestete Varianten:

Einspreizen der Platte zwischen die Haspelstäbe:

Die Platte wird wie in Abbildung 17 mit dem Einführarm zwischen die Haspelstäbe hindurchgeführt. Dreht sich die Haspel währenddessen weiter, wird die Platte zwischen die Haspelstäbe gebogen und soll so Halt finden. Beim Wickeln zeigte sich, dass sobald annähernd eine Wicklung geschafft ist, die Anpresskraft der Platte auf die Stäbe zu gering wird und so die Platte herausrutscht (Markiert mit orangen Pfeilen in Abbildung 18). Daher scheidet diese Variante aus.

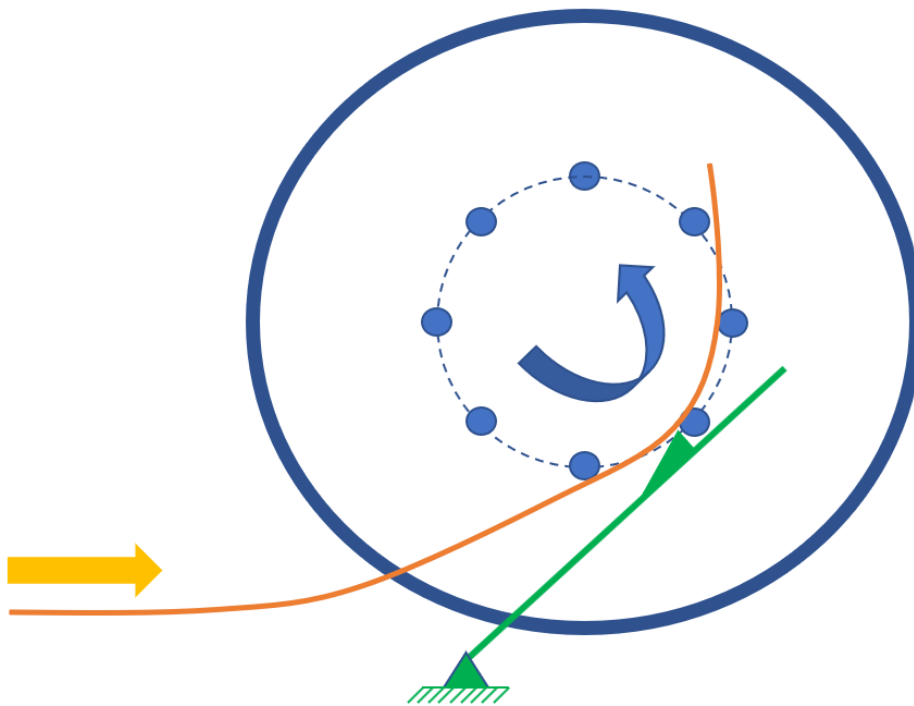


Abbildung 17: Schema- Einspreizen zwischen Haspelstäbe, Quelle: Eigene Darstellung.



Abbildung 18: Versuch Platte zwischen Haspelstäbe einspreizen, Quelle: Eigene Darstellung.

Einspreizen mit gummierten Haspelstäben:

Im zweiten Versuchsaufbau wurde gleichermaßen vorgegangen, jedoch wurden die berührenden Haspelstäbe mit einem Kunststoffschlauch ummantelt, um mehr Haftung zwischen Platte und Haspelstäben zu erreichen. Beim Wickeln zeigte sich eine Verbesserung und so begann die Platte erst merklich später zu rutschen. Bei dünneren Platten als im Versuch würde dies verstärkt zu Problemen führen, da sich diese um ein Vielfaches einfacher biegen lassen und so die Anpresskraft Platte zu Haspelstab noch geringer ausfällt. Daher scheidet auch diese Variante aus.

Einhaken mittels U-Profil

Beim dritten Versuchsaufbau wurde auf die Platte händisch ein Aluminium U-Profil aufgeklebt. Dieses greift beim Wickelbeginn in die Haspelstäbe (Abbildung 19, orangefarbener Pfeil). Diese Variante funktioniert, ist aber nur schwierig zu automatisieren, da das definierte automatische Aufkleben des U-Profiles viele Probleme mit sich bringt. Des Weiteren würde das U-Profil mit der Haspel zum Kunden transportiert und müsste auch von diesem wieder retourniert werden, was sich in der Praxis als problematisch darstellt.



Abbildung 19: Einhaken mittels aufgeklebtem U-Profil, Quelle: Eigene Darstellung.

Selbstklemmende Klemmpratze

Für den vierten Versuch wurde eine selbstklemmende Klemmpratze (Abbildung 20 & Abbildung 21) konstruiert. Diese wurde für den Versuch mit einem Haspelstab festgeschraubt. Der Ablauf ist dabei wie folgt: Die Haspel wird in die vorgegebene Position gedreht und der Einführarm, der die Platte heranführt, fährt in Position. Nun wird die Platte mittels Vorschubaggregat zwischen Haspelstab und Klemmpratze eingeführt. Sollte die Platte zurückrutschen, wird dies durch die Selbstklemmung verhindert. Die Haspel beginnt zu drehen wodurch die Platte geklemmt und mit aufgewickelt wird. Die Andrückwalzen am Vorschubaggregat können nun freigegeben werden. Die Platte wird nur von der Haspel gezogen, womit bereits die ersten Wicklungen stramm an den Stäben anliegen. Diese Variante ist einfach zu automatisieren und erfüllt die Anforderungen, weshalb diese weiterverfolgt wird. Für die spätere Lösung wird der Klemmmechanismus werkzeugfrei abnehmbar konstruiert.

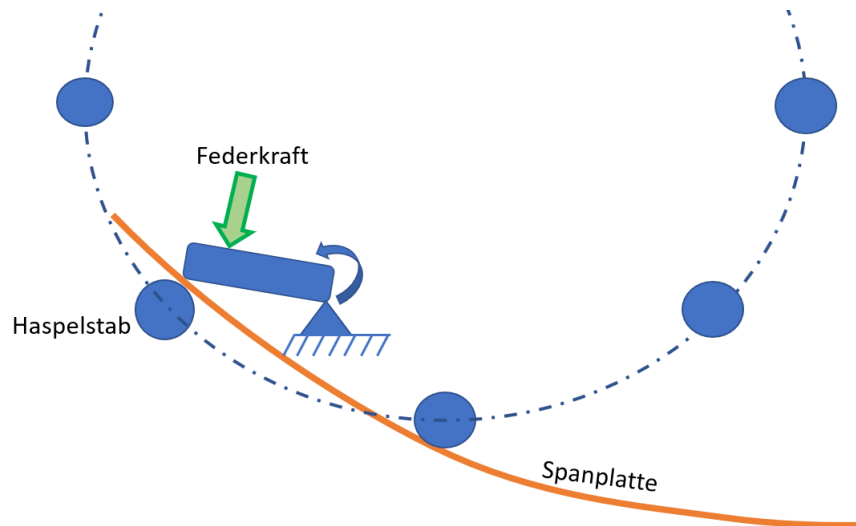


Abbildung 20: Schema selbstklemmende Klemmpratze, Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 21: Selbstklemmende Klemmpratze, Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 22: Selbstklemmende Klemmpratze Versuch, Quelle: Eigene Darstellung

Versuchserkenntnisse:

Die Rampe, welche die Platte an die Haspelstäbe heranführt, sollte eine glatte, gut gleitfähige Oberfläche, oder sogar als Rollenbahn ausgeführt sein, da sich sonst beim Einfädeln die Platte aufwölben und ausknocken bzw. brechen könnte. Das vordere Gestell muss zum hinteren Gestell exakt ausgerichtet sein. Die Platte ist durch die Produktion in Vorschubrichtung leicht vorgebogen und neigt deshalb dazu an Vorsprüngen hängen zu bleiben. Durch verschiedene Schichtstoffe kann es auch zu einer Wölbung in Querrichtung der Platte kommen. Beim Einfädeln zwischen Klemmpratze und Haspelstab könnte diese Wölbung kritisch sein und sollte möglichst flachgedrückt werden. Auch in den Schächten, in denen die Platte läuft muss die mögliche Biegung beachtet werden.

4. Neues Anlagenkonzept

Vorstellung des neu entwickelten Ablaufs zum Aufwickeln der Platte und der gesamten Konstruktion.

4.1. Prozessablauf Wickeln neu

Beschreibung des neuen Ablaufs beim Wickeln der Platte:

In Abbildung 24 ist der schematische Prozessablauf der neu entwickelten Methode für das Wickeln der Platte abgebildet. Die gesamte Anlage wird mit dem Stapler vom Lagerort an den Arbeitsplatz gebracht und dort positioniert. Ein Schema der neu entwickelten Anlage ist in Abbildung 23 zu sehen. Die Haspeln werden jeweils mit dem Klemmmechanismus bestückt (Abbildung 48) und mit dem Stapler in die Anlage gehoben. Die Ausrichtung der Gestelle soll automatisch geschehen. Dazu befindet sich am Klemmmechanismus (Abbildung 48) ein Reflektor (Abbildung 45), der über einen optischen Sensor am Gestell detektiert werden kann. Anhand des Sensorsignals kann eine Ausrichtung der Haspel erfolgen. Der Einführarm schwenkt an die Haspelstäbe heran. Die Plattenbahn wird aus der Produktionsanlage kommend auseinandergetrieben, über den Plattenwender geleitet (nicht Teil dieser Arbeit, siehe Kap. 2.5). Dort wird die Platte händisch in den Einführschacht des Schneidaggregats am vorderen Gestell eingeführt. Von dort wird die Platte mit dem Vorschubaggregat automatisch weiter über den ersten Einführarm an die erste Haspel geführt. Die Platte wird zwischen Haspelstab und Klemmmechanismus geschoben, vom Mechanismus geklemmt und die Haspel beginnt zu rotieren. Nun wird gewickelt bis sich die benötigten Laufmeter Platte auf der Haspel befinden. Dann wird mit dem Schneidaggregat die Platte gestoppt, woraufhin im Schneidaggregat der Schnitt erfolgt. Anschließend schwenkt das Schneidaggregat, um die Platte in jenen Schacht zu fördern, welcher zum hinteren Gestell führt. Am hinteren Gestell erfolgt das Aufwickeln analog zum Vorgang am vorderen Gestell. Währenddessen wird am vorderen Gestell die Restplatte aufgewickelt und ein Arbeiter kann die Plattenstreifen mit den Haltemechanismen aus Abbildung 48 auf den vorderen Haspeln fixieren. Nun können die vollen Haspeln vom Stapler aus den Gestellen auf den Boden gehoben werden. Dort werden sie nach Verpackungsvorschrift verpackt. Leere Haspeln werden in das Gestell eingesetzt und das Wickeln kann nahtlos (sofern die Haspeln am hinteren Gestell voll sind) weitergehen.

Zum Anbringen der Haltemechanismen (Abbildung 48) befindet sich zwischen hinterem und vorderem Gestell eine Begehung, über welche die Anlage betreten werden kann. Da ohne Unterbrechung weitergearbeitet wird, rotiert währenddessen die hintere Haspel. Als Schutz vor dieser gibt es ein steckbares, überwachtes Schutzgitter (Abbildung 25 Nr.4). Die Anlage kann nur in Betrieb genommen werden, sofern dieses auch montiert ist.

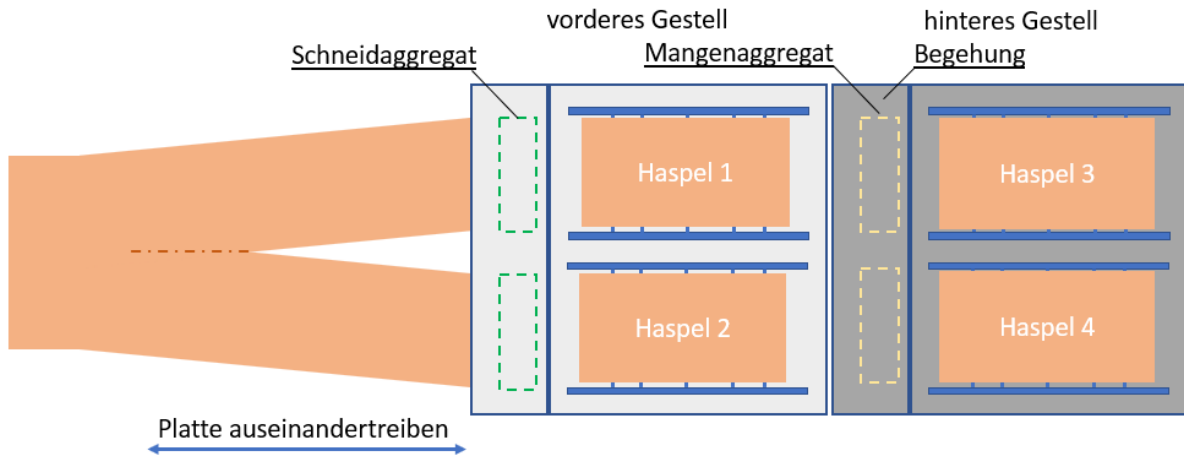


Abbildung 23: Schema der neu entwickelten Anlage, Quelle: Eigene Darstellung

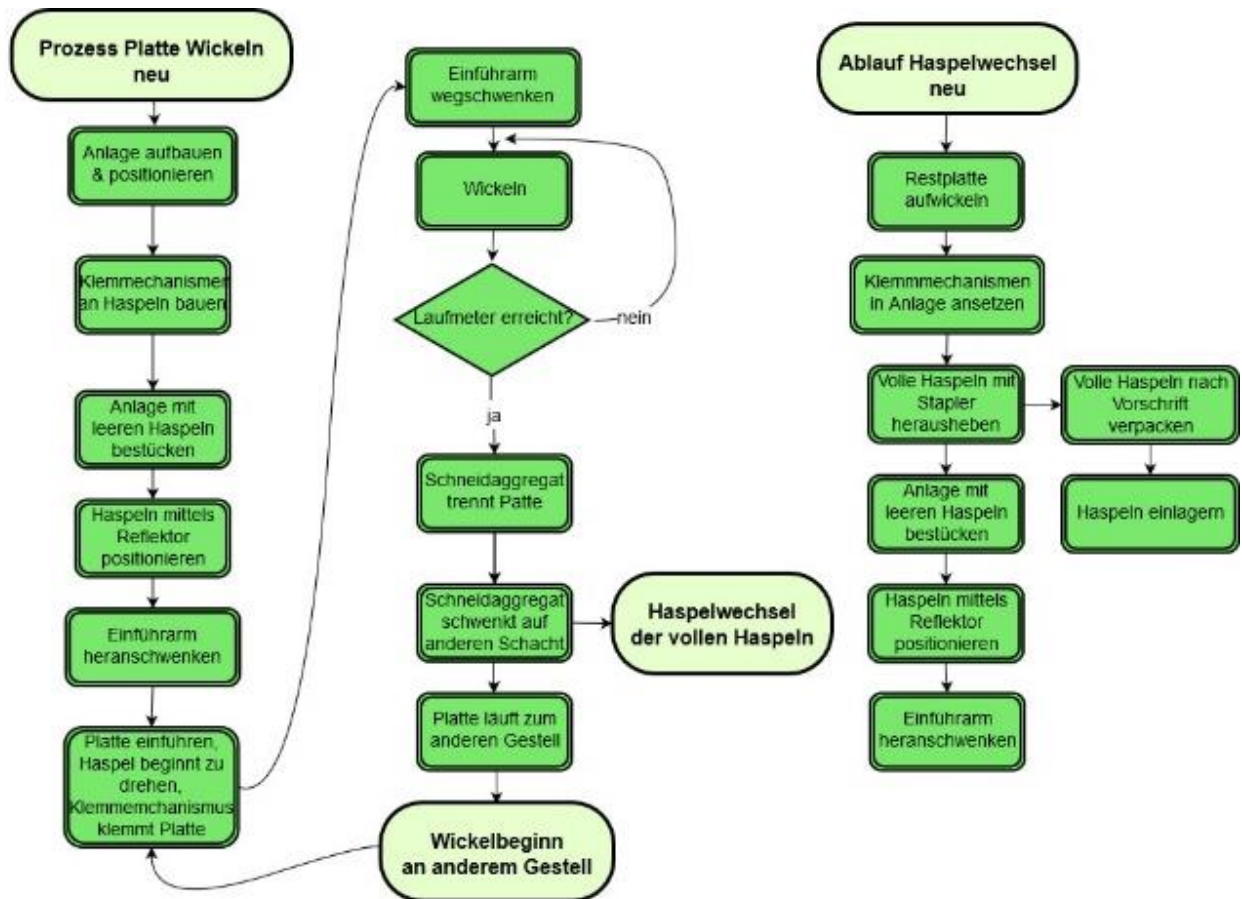


Abbildung 24: Schematischer Prozessablauf Wickeln neu, Quelle: Eigene Darstellung

Im neu entwickelten Ablauf können die Haspeln an einem Gestell gewechselt werden, während auf dem anderen weitergewickelt wird. Dadurch müssen die Arbeitsschritte beim Haspelwechsel nicht mehr unter großem Zeitdruck parallel ausgeführt werden. Dies hat zur Folge, dass die Arbeitsschritte von insgesamt weniger Personal als bisher ausgeführt werden können. Arbeiten unter Zeitdruck sind zu vermeiden. Dies ist auch im Arbeitnehmerschutzgesetz verankert:

Arbeitsvorgänge sind so zu gestalten, dass Zwangshaltung möglichst vermieden wird und Belastungen durch monotone Arbeitsabläufe, einseitige Belastung, Belastungen durch taktgebundene Arbeiten und Zeitdruck sowie sonstige psychische Belastungen möglichst geringgehalten und ihre gesundheitsschädigenden Auswirkungen abgeschwächt werden.⁷

Auch durch die gesteigerte Automatisierung kann im neuen Ablauf Arbeitskraft eingespart werden.

⁷ §60 Absatz 1 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz.

Der größte Vorteil des neuen Konzepts ist aber, dass das Wickeln nun ausschussfrei von statten gehen kann!

4.2. Gesamtkonstruktion

Abbildung 25 zeigt die komplette Wickelanlage. Wie dargestellt hat die Anlage mit den Haspeln eine Länge von ca. 7,7 m, eine Breite von 3,4 m und eine Höhe von 3,1 m. Die Platte kommt in dieser Darstellung von rechts in die Anlage. Der Kanal, der die Platte vom vorderen Gestell zum hinteren Gestell führt, ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Das rechte Gestell wird dabei als vorderes Gestell bezeichnet, das linke Gestell als hinteres. Die beiden Gestelle unterscheiden sich nur in kleinen Details. So ist die Begehung am hinteren Gestell breiter, um dem Arbeiter ausreichend Platz zu geben. Das vordere Gestell verfügt über das Schneidaggregat, welches geschwenkt werden kann, um die Platte an das hintere Gestell weiterzuleiten. Das hintere Gestell verfügt über ein reines Vorschubaggregat um den Platten-vorschub zu steuern.

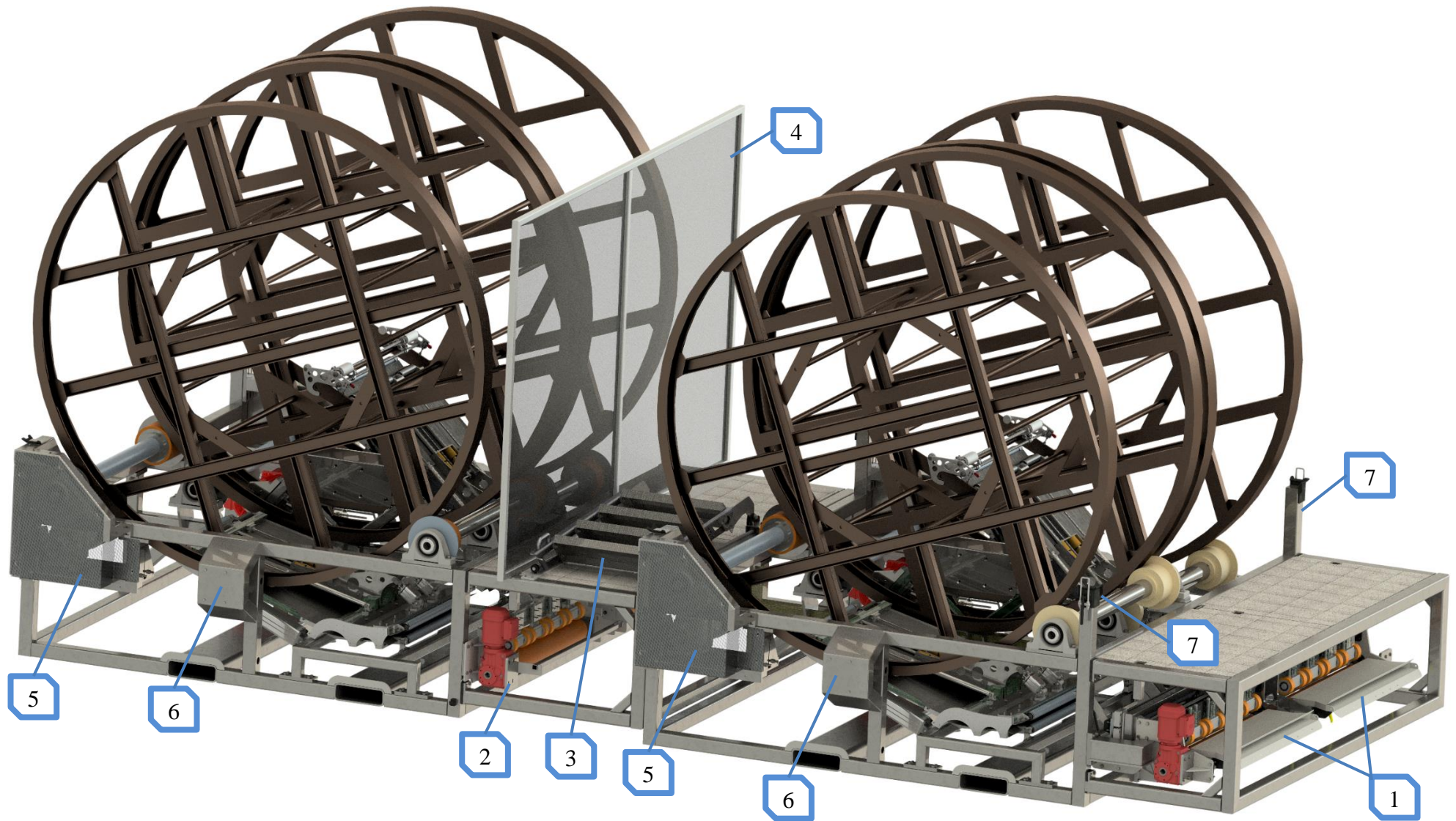


Abbildung 25: Gesamtansicht Wickelanlage, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3. Unterbaugruppen

4.3.1. Gestell

Das Gestell wurde als Schweißkonstruktion geplant. Dafür spricht die geringe Losgröße von nur zwei Stück, die gebaut werden. Andere Gestellwerkstoffe wie sie bei Werkzeugmaschinen zum Einsatz kommen, etwa Gusswerkstoffe oder armierter Beton sind aufgrund aufwändig herzustellender Formen erst ab größeren Stückzahlen wirtschaftlich.⁸

Als Rohteil fanden hauptsächlich quadratische Stahl-Hohlprofile der Abmessung 80x80x5 mm Verwendung. Die sonstigen benötigten Bleche können per Laserzuschnitt hergestellt werden. Bei der Konstruktion wurde auf große Steifigkeit Wert gelegt, da die Gestelle im späteren Betrieb mit dem Stapler transportiert werden sollen und es dabei erfahrungsgemäß öfters zu Beschädigungen kommt. Um mögliche Verformungen des Gestells unter Belastung zu ermitteln, wurde dieses einer FE-Analyse (Abbildung 26) unterzogen. Die Pfeile aus Abbildung 26 zeigen die aufgebrauchten Lasten, die aus der Belastung zweier vollen Haspel resultieren. Sie wurden analytisch berechnet (Anhang 3: Berechnung Auflagekräfte FE-Simulation) und jeweils direkt auf die Anbindungspunkte der Lagereinheiten aufgebracht. Die Einspannung erfolgte an der Unterseite des Gestells, an den Auflagepunkten am Boden, starr. Die Analyse zeigt eine maximale Verformung von 3,5 mm im rot gekennzeichneten Bereich. Als Konsequenz wurde dieser Träger in der finalen Konstruktion zusätzlich nach unten abgestützt.

⁸ Vgl. Brecher /Weck (2018), S. 106.

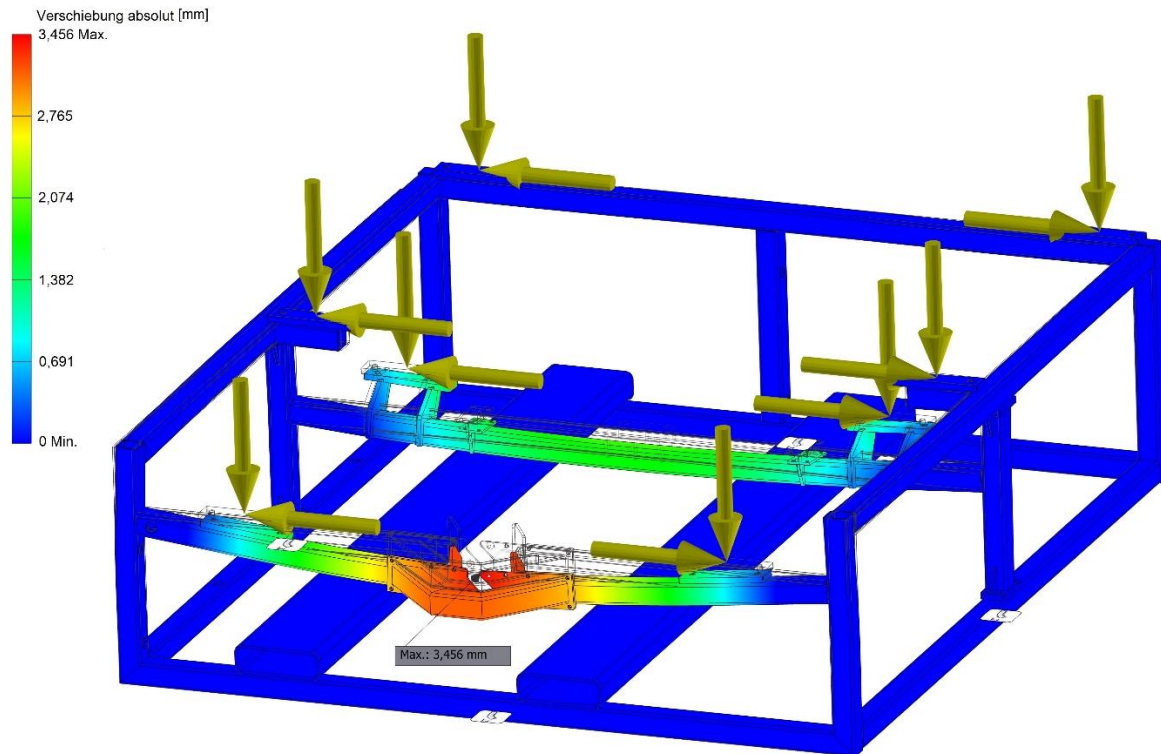


Abbildung 26: FE-Analyse des Gestells, Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 27 zeigt die Gestell-Schweißkonstruktion mit mittig montierter Abweisereinheit. An den Profilen werden die jeweils benötigten Gewindegrundplatten angeschweißt. Diese Platten werden nach dem Schweißen des Gestells überfräst, um den Schweißverzug auszugleichen. Die Halter für die Nebenaggregate werden angeflanscht, um im Falle einer Reparatur einen schnellen Wechsel zu erleichtern. Ein Gestell nimmt zwei Haspeln auf, deren Achsen kollinear angeordnet sind. Um platzsparend zu konstruieren sind die Wellen, auf denen die Haspeln laufen versetzt angeordnet. Dies ist wichtig, da so die Plattenbahnen nur 30 cm auseinandergetrieben werden müssen. Das hintere Gestell kann beidseitig ohne Schneidaggregat gebaut werden. Zur Aufnahme für den Staplertransport mittels Gabelzinken sind zwei quadratische Formrohre 300x100x5 mm am Gestell angeschweißt.

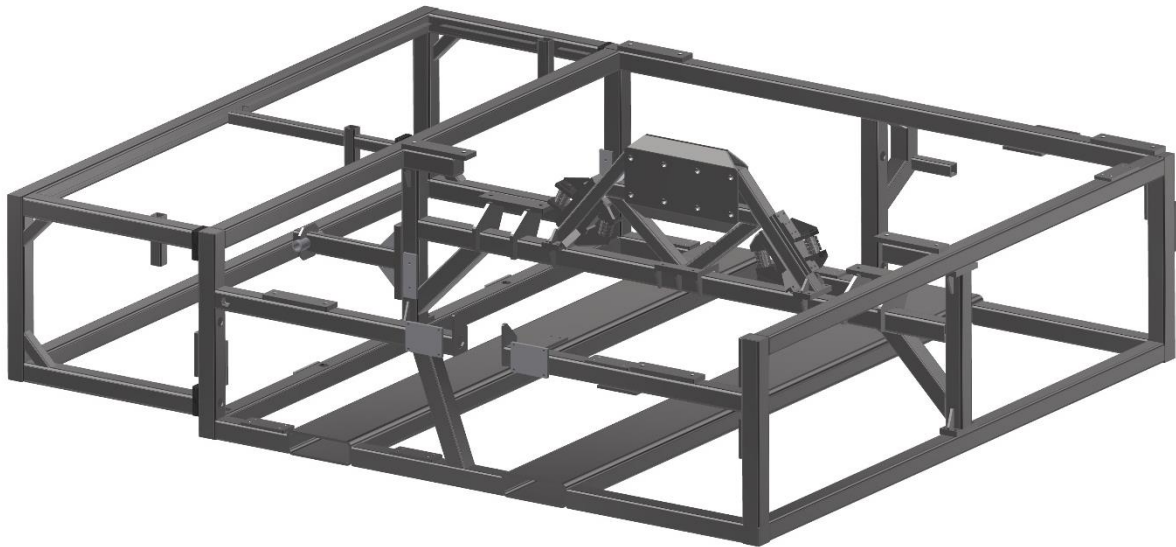


Abbildung 27: Gestell mit mittig montiertem Abweiser, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Gestelle sind stapelbar, so verfügt das vordere Gestell über vier Aufnahmeschuhe (dargestellt in Abbildung 25, Nr.7), damit das hintere Gestell darauf platziert werden kann. Gesichert wird beim Stapeln über drei Spannhebel (Abbildung 28), welche die Gestelle zusammenspannen.

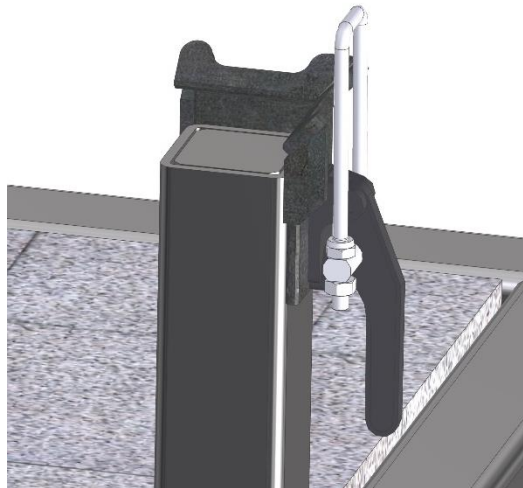


Abbildung 28: Spannhebel mit Stapelschuh, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.2. Abweiser:

Der mittig im Gestell montierte Abweiser (Schema in Abbildung 29 Nr.1) hat die Aufgabe an seinen vier Rollenbatterien (Nr.2) die Haspeln zu führen und beim Einsetzen der Haspel mittels Stapler, als Anschlag zur leichteren Positionierung zu dienen. Pro Seite sind für jede Haspel zwei Rollenbatterien angeordnet. Die Rollenbatterien sind jeweils so angeordnet, dass sie an den Seitenscheiben der Haspel laufen. So wird jede Haspel über jeweils zwei Rollenpaare und den Andrückzylinder (Abbildung 32), symbolisiert in Abbildung 29 als Kraft F , seitlich geführt. Die ganze Baugruppe wird auf den Träger (Abbildung 30 Nr.2) angeschraubt.

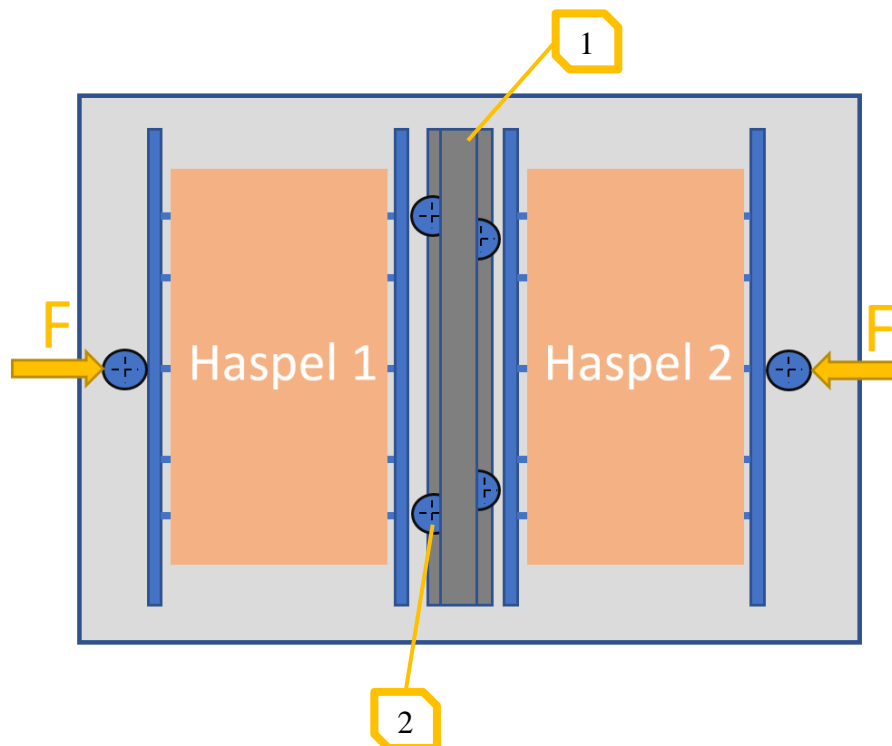


Abbildung 29: Schema Haspelabweiser, Quelle: Eigene Darstellung.

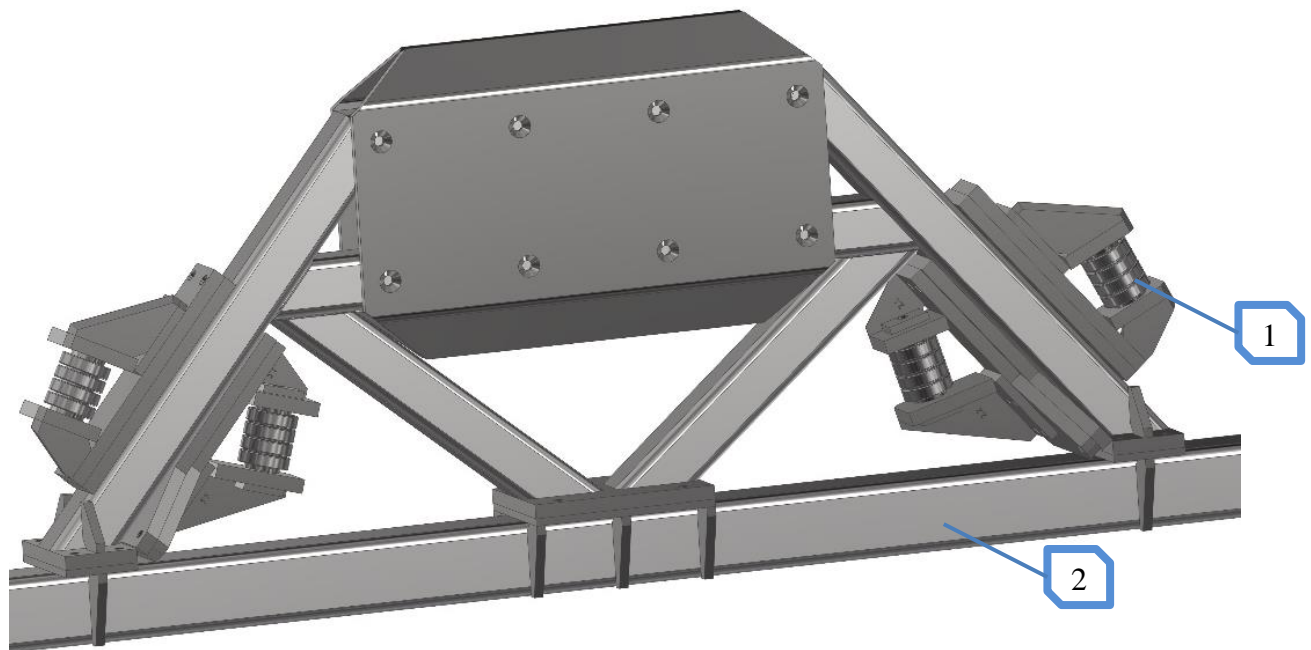


Abbildung 30: Abweisereinheit mit Rollenbatterien, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.3. Andrückzylinder

Der Andrückzylinder, dargestellt in Abbildung 31 und Abbildung 32, hat die Aufgabe die rotierende Haspel mittels der Andrückrolle an die gegenüberliegenden Rollen des Haspelabweisers zu drücken. Als Schutz vor Beschädigungen ist die gesamte Baugruppe von einem Schutzrahmen (Nr.1) umgeben. Die zwei seitlich neben dem Andrückzylinder angeschweißten Bleche (Nr.2) dienen als Abweiser für die Haspel beim Einsetzen mit dem Stapler. Durch die Löcher in den Abweise-Blechen können die Druckluftleitungen in die Profilrohre geführt werden.

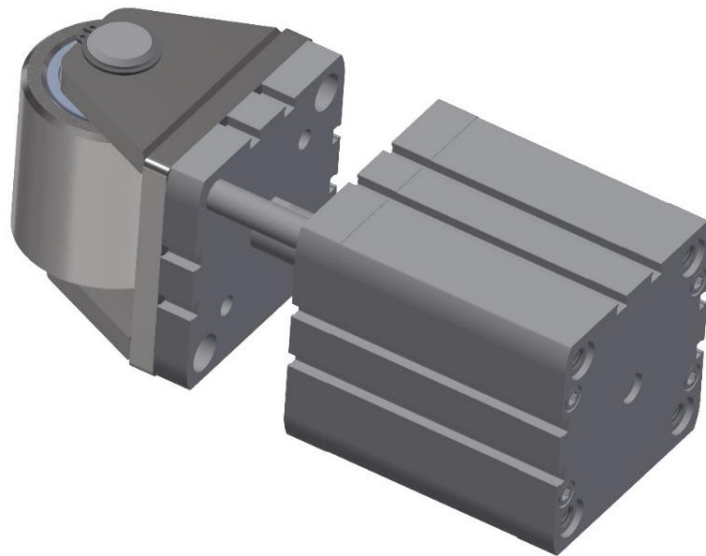


Abbildung 31: Andrückzylindereinheit, Quelle: Eigene Darstellung.

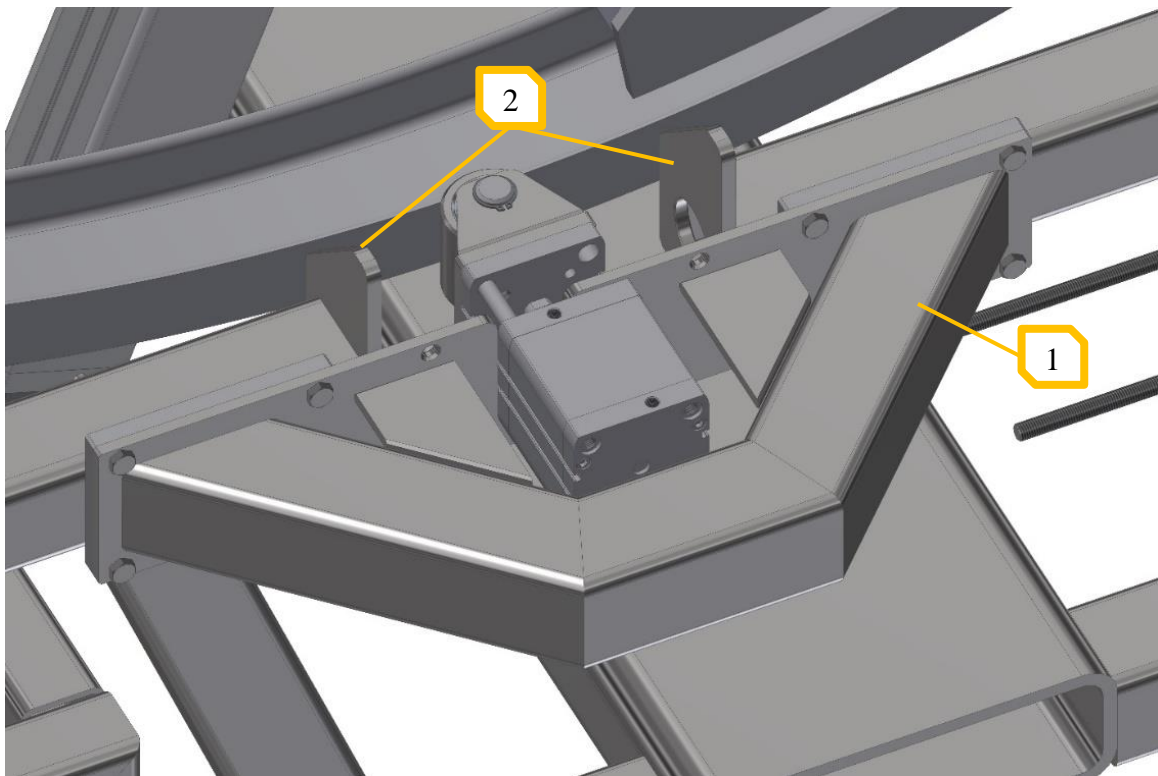


Abbildung 32: Andrückzylinder mit Schutzrahmen, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.4. Schneidaggregat

Das Schneidaggregat (Abbildung 33 und Abbildung 34) besteht aus einem geschweißten Profilrohrrahmen (Nr.1), an den zwei Flanschbleche angeschweißt sind. Diese werden nach dem Schweißen überfräst. An diese sind die Seitenplatten (Nr.2) angeschraubt, welche die restlichen Komponenten aufnehmen. Anders als im Versuch, wo Kugelumlaufrollführungen verwendet wurden, kommen nun Kunststoff-Gleitführungen mit Stahlschienen zum Einsatz (Fa. Igus (Nr.3)). Pro Seite laufen aus Gründen der Tragfähigkeit zwei Wagen, auf welche mittels Verstrebung die Last aufgeteilt wird. Mit den Laufwagen ist ein Flachstahl verschraubt, der als Messerhalter dient. Als Schneidspalt dient eine Schweißbaugruppe aus zwei U-Profilen (Nr.5), die in Langlöchern ausgerichtet werden kann. An diese Baugruppe ist auch der Gabelkopf des Schwenkzylinders angebunden. Die Kraft des Pneumatikzylinders wird wie im Versuch beschrieben in Kap. 3.6 auf den Messerträger mittels Kniehebelmechanik übertragen. Dabei wurden die Abmessungen aus dem Versuch übernommen, wodurch auch die möglichen Kräfte aus Abbildung 12 ihre Gültigkeit behalten.

Der Antrieb der gummierten Vorschubwalze (Nr.4) geschieht über eine Getriebemotoreinheit⁹, welche auf das Wellenende direkt aufgeschoben ist. Die Getriebemotoreinheit wird von einem Frequenzumrichter gespeist. Damit lässt sich die Motordrehzahl und somit die Vorschubgeschwindigkeit stufenlos verändern. Zum Festsetzen der Platte muss der Motor zusätzlich über eine Bremse verfügen.¹⁰ Die Welle der Vorschubwalze ist nicht nur direkt über das Getriebe gelagert, sondern auch zur besseren Wartung zusätzlich mit einem Flanschlager. So kann die Motor-Getriebeeinheit ohne Demontage der Vorschubwalze demontiert werden. Zwischen Oberkante der Walze und der Plattenunterseite befindet sich wie in Abbildung 34 sichtbar ein Spalt von ca. 3 mm, welcher verhindert, dass sich auf der Walze durch die Platte eine Flachstelle einschleift, wenn der Vorschubantrieb nicht benötigt wird. Die Spalthöhe lässt sich über Langlöcher justieren. Nur wenn der Vorschub aktiviert ist, wird die Platte durch die Andrückrollen (Nr.9) auf die Antriebswalze gedrückt. Die Andrückrollen sind auf einem Zylinder (Nr.1) mit zwei zusätzlichen Führungsstangen montiert. Diese Zylinder sind mit einer U-Profil-Traverse

⁹ Firma SEW: Bezeichnung: KA37_DRS71M4

¹⁰ Vgl. Bernstein (2018), S.193 ff.

verschraubt. Das Abdeckblech des U-Profiles (Nr.6) dient zusätzlich als Kabel- und Schlauchschacht. Die Lagerung des Schneidaggregats ist mit Gleitbuchsen ausgeführt. Die Innenseite des Aggregats ist mit Blechen verkleidet. Um ein Streifen der Platte zu verhindern, wurden Rollen (Nr.7) zur Führung eingesetzt. Am Eingang des Schneidaggregats befindet sich ein verschiebbarer Einführschacht (Nr.8). Dieser erlaubt es die Platte noch einmal in ihrer Position zu justieren. Dieser Einführschacht wird über den gelben Klemmhebel fixiert (Nr.9)

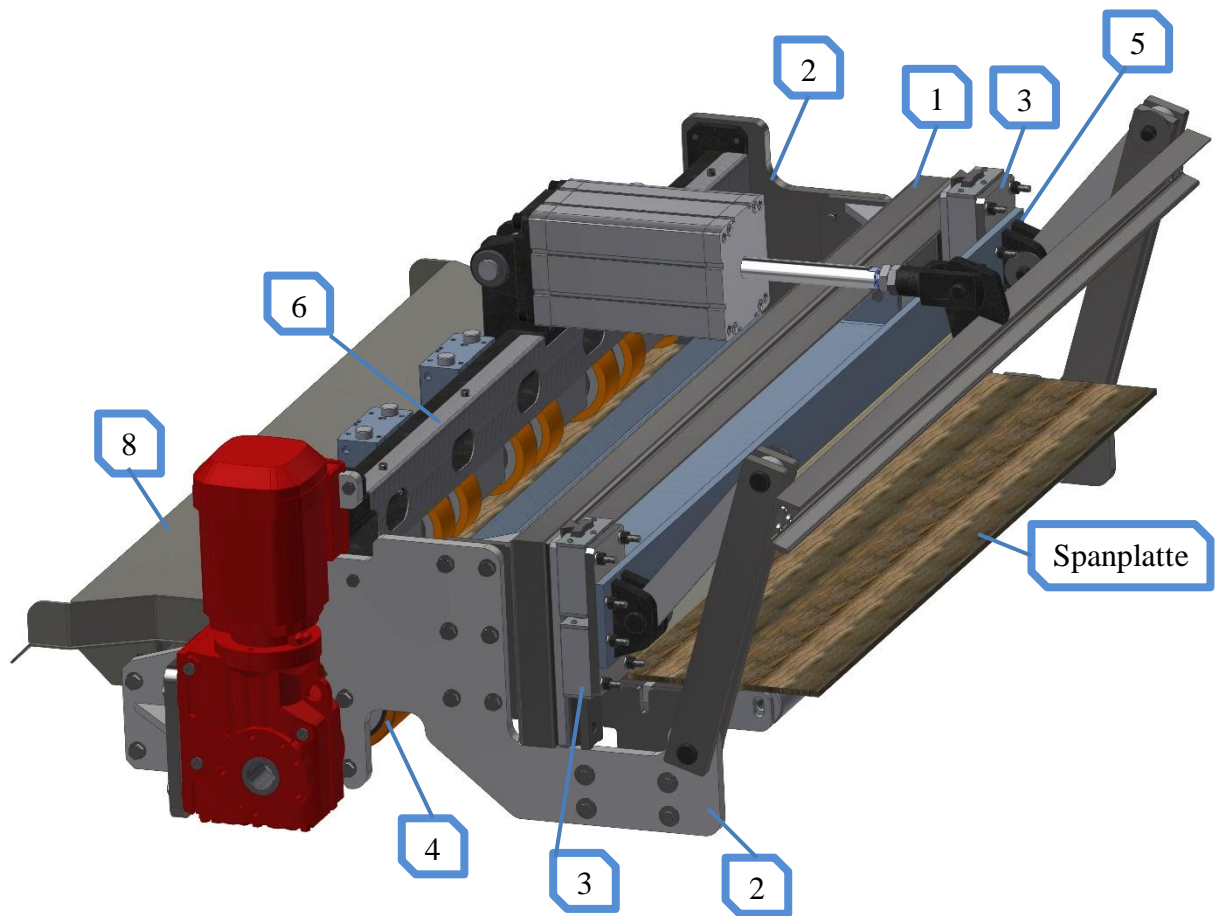


Abbildung 33: Schneidaggregat mit Platte, Quelle: Eigene Darstellung.

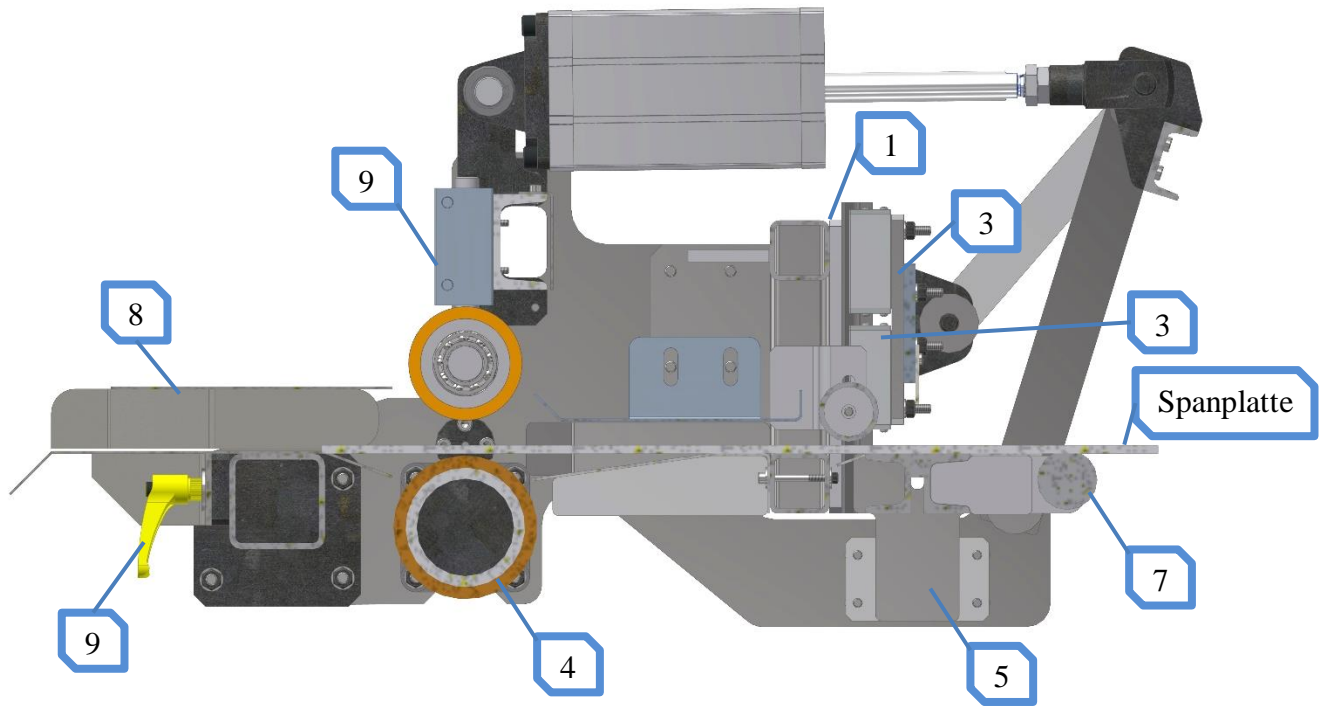


Abbildung 34: Schneidaggregat Halbschnitt, Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 35 zeigt das Schneidaggregat im Einbauzustand mit den zwei Kanälen. Der obere Kanal (Nr.3) führt zum Einführarm der vorderen Haspel. Der untere Kanal (Nr.4) dient als Durchführung zum hinteren Gestell. Damit die Platte an den Kanten des Kanals nicht anstreift, sind diese mit Rollen ausgestattet. Das Schneidaggregat kann mit dem Zylinder (Nr.1) zwischen den Kanälen hin und her geschwenkt werden. Der Drehpunkt befindet sich im Punkt Nr. 2.

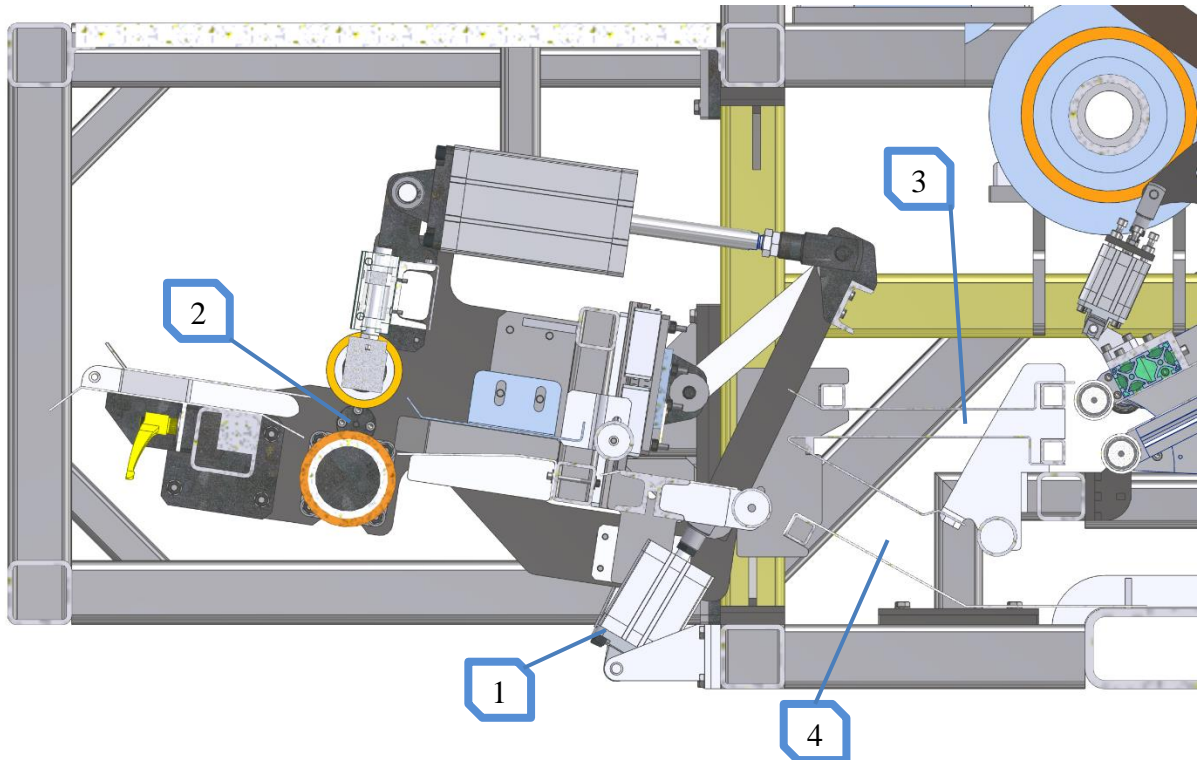


Abbildung 35, Schnittansicht Schneidaggregat Einbauzustand, Quelle: Eigene Darstellung

4.3.5. Haspelantrieb

Der Antrieb einer Haspel geschieht jeweils über einen Getriebemotor¹¹ (Abbildung 36) aus dem Baukastensystem der Firma SEW-Eurodrive mit einer Nennleistung von 2,2 kW. Der Getriebemotor wird über einen Frequenzumrichter gespeist. Das Antriebsmoment wird über eine Kette auf die Welle, auf der die Haspel gelagert ist, übertragen. Die Übersetzung von Getriebe und Kettenradkombination ist dabei so gewählt um den Motor in einem optimalen Frequenzbereich zu betreiben. Um die Verlängerung der Antriebskette durch Verschleiß auszugleichen ist der Motor auf einer verschiebbaren Konsole montiert. Die Kettenspannung und die Schiefstellung des Motors wird über die Gewindestangen justiert. Geklemmt wird der Motor über die vier Schrauben an der Unterseite des Verschiebeschlittens. Das Kettenrad an der Haspelwelle und an der Motorausgangswelle ist jeweils mittels Taperlock-Spannbuchse montiert. Die Bau-Gruppe wird an das Gestell angeschraubt und ist von einem Schutzgitter umgeben (Abbildung 37).

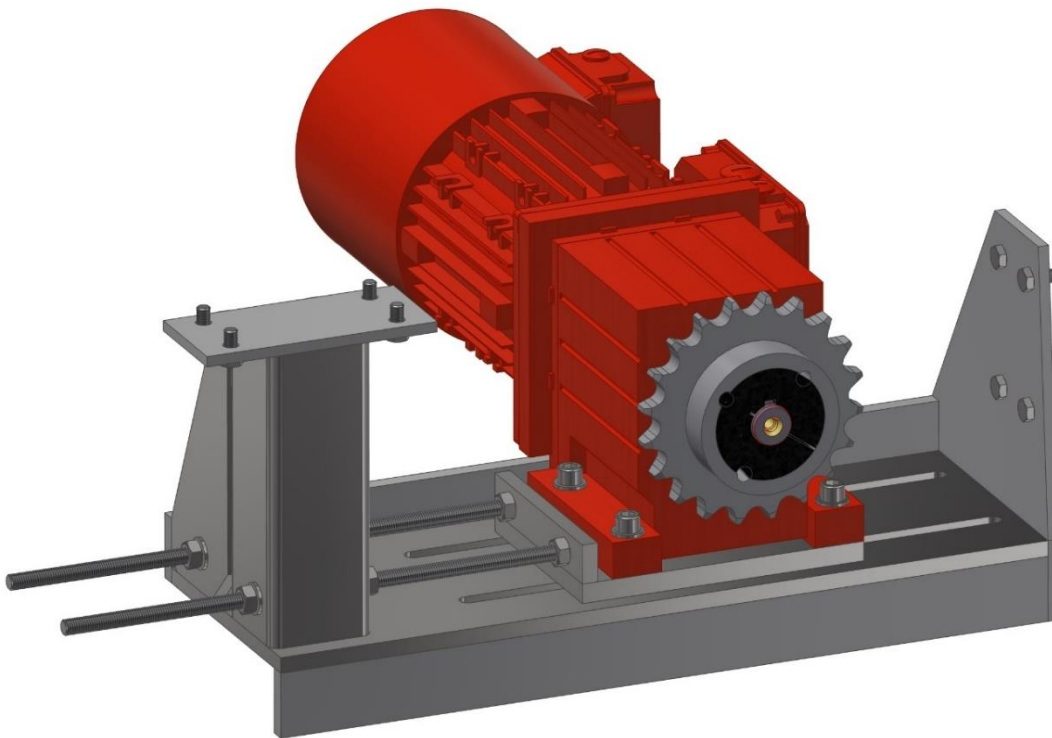


Abbildung 36: Antriebsmotor der Haspel auf Konsole, Quelle: Eigene Darstellung.

¹¹ Hersteller: Firma SEW, Bezeichnung: GST06-2MVAL-100C12, i=22,778

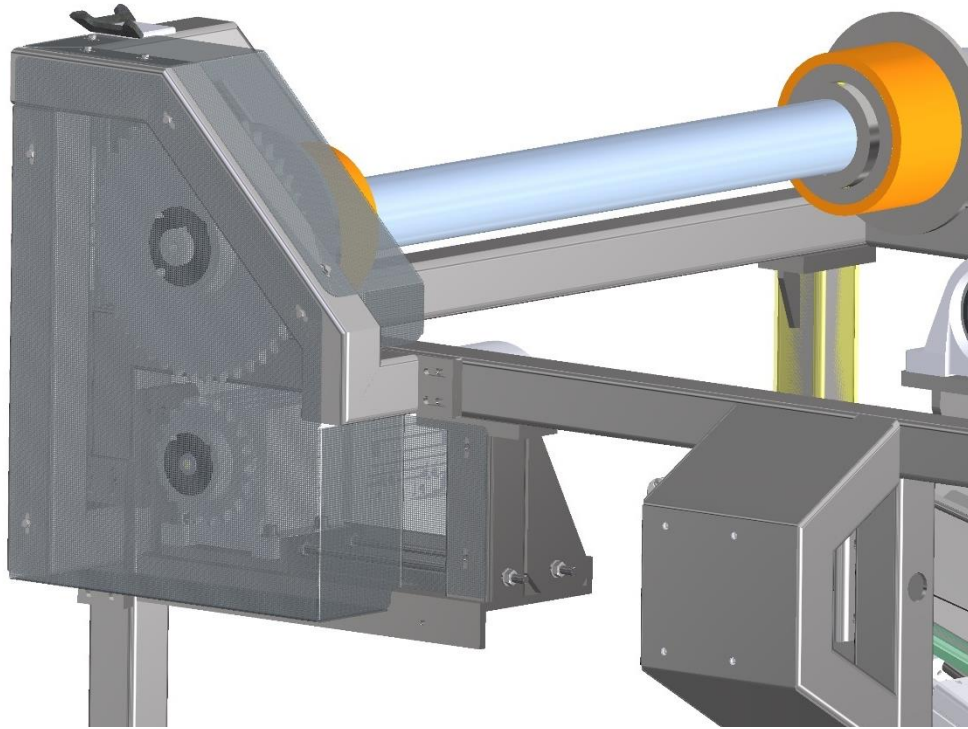


Abbildung 37: Kettentrieb mit Schutzgitter, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.6. Haspelwelle

Pro Haspel wird eine Welle angetrieben, die zweite dient nur als Abstützung. Sie sind vom Aufbau ident, jedoch verfügt die angetriebene Welle jeweils über andere Wellenstummel. Eine Haspelwelle (Abbildung 38) besteht aus dem zentralen Rohr und jeweils einem linken und rechten Wellenstummel. Das Rohr besitzt an der linken und rechten Seite eine Ausdrehung. Für die Montage wird das Rohr erwärmt und anschließend die Wellenstummel bis zum Absatz der Ausdrehung am Rohr eingepresst. Danach wird die gesamte Einheit überdreht. Für diese Bauweise und Wahl der Passungen liegen in der Firma bereits Erfahrungen vor, da dieses Prinzip an anderen Maschinen unter gleichen Lasten und Abmessungen eingesetzt wird und dafür auch ausgelegt wurde. Auf der Welle befinden sich die Laufrollen, die zur besseren Kraftübertragung mit Kunststoff ummantelt sind. Das Drehmoment wird zwischen Welle und Laufrolle mittels Passfedern übertragen. Die axiale Sicherung übernehmen Madenschrauben, die in eine Bohrung im Rohr eingeschraubt werden.

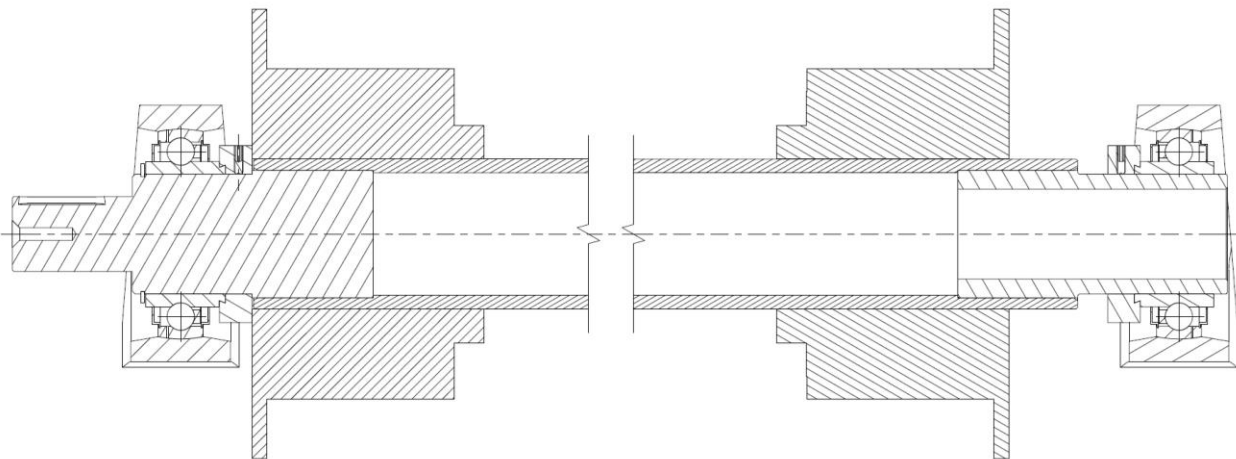


Abbildung 38: Querschnitt der angetriebenen Haspelwelle, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Haspelwelle wird mit Stehlagerböcken im Fest/Los-Lager Prinzip gelagert. Am Festlager wird zusätzlich zur Madenschraube des Stehlagerbocks ein Wellensicherungsring verbaut. Die Sicherung mit Madenschrauben wird bereits in einer ähnlichen Anlage verwendet und reicht für diese Anwendung auch aus. Im Betrieb sollten ohnedies keine Axialkraft auf die Lagerung wirken, da die Haspel zwischen der Andrückzylinderrolle und den Rollen des Haspeleinweisers geführt ist.

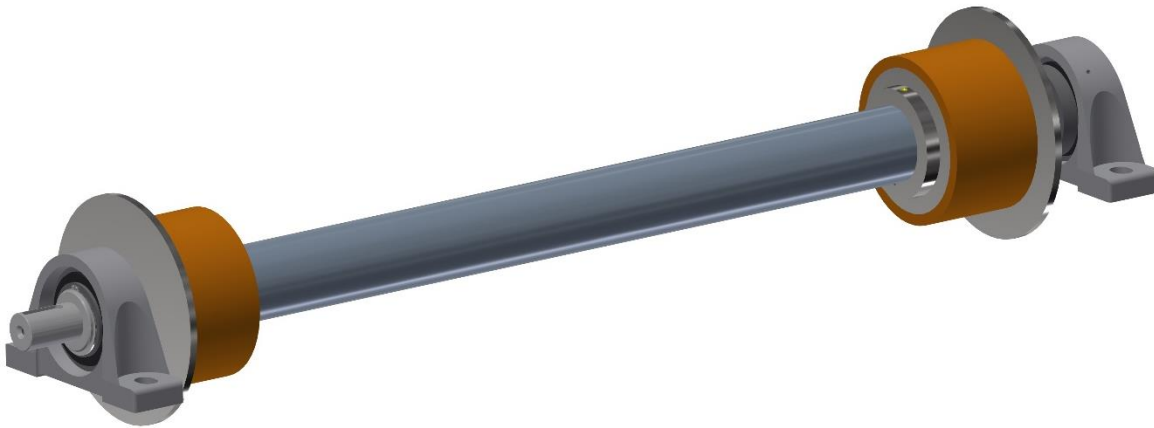


Abbildung 39: Gesamtansicht Haspelwelle, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.7. Einführarm

Der Einführarm in Abbildung 40 bis Abbildung 42 dargestellt ist, wird gebraucht, um die Platte gezielt zwischen Haspelstab und Klemmmechanismus einzuführen. Der komplette Mechanismus kann mittels der unteren zwei Pneumatikzylinder (Nr.1) an die Haspelstäbe herangeschwenkt werden. Beim Einfädeln der Platte fahren zusätzlich drei Führungsrollen (Nr.2) nach vorne, um einer möglichen Wölbung der Platte quer zur Plattenrichtung entgegenzuwirken. Diese Rollen bleiben nur während des Einfädels an ihrer Position und werden anschließend wieder eingefahren, da sie sonst beim aufwickeln an der Platte streifen würden. Angepresst werden sie über zwei Pneumatikzylinder (Nr.3). Diese bieten gegenüber Federn den Vorteil, dass sie beim Ein- und Ausfahren entlastet werden können und so die Messing-Führungsbuchsen (Nr.4) weniger zum Verkanten neigen. Die Linearbewegung der Rollen wird ebenfalls über Pneumatikzylinder (Nr.5) bewerkstelligt. Alle drei beweglichen Achsen des Einführarmes verfügen über einstellbare Anschläge und lassen sich so in ihrer Bewegung begrenzen bzw. einstellen. Am Einlauf befinden sich zur Führung zwei Führungsrollen (Nr.6). Am Ende befinden sich ebenfalls zwei Rollen zur Verringerung der Reibung, da sich beim Versuch gezeigt hat, dass durch die lange freie Länge, welche die Platte geschoben wird, dünne Platten zum Ausknicken neigen können. Die gesamte Laufbahn der Platte ist mit Blech verkleidet, um ein Einhaken oder Hängenbleiben zu verhindern. Pro Haspel wird ein Einführarm benötigt. Die zwei Einführarme eines Gestells sind jeweils auf einem gemeinsamen Hilfsrahmen (Nr.7) aus Profilrohren geschraubt. So werden im gesamten Projekt vier Stück dieser Einführarme verbaut.

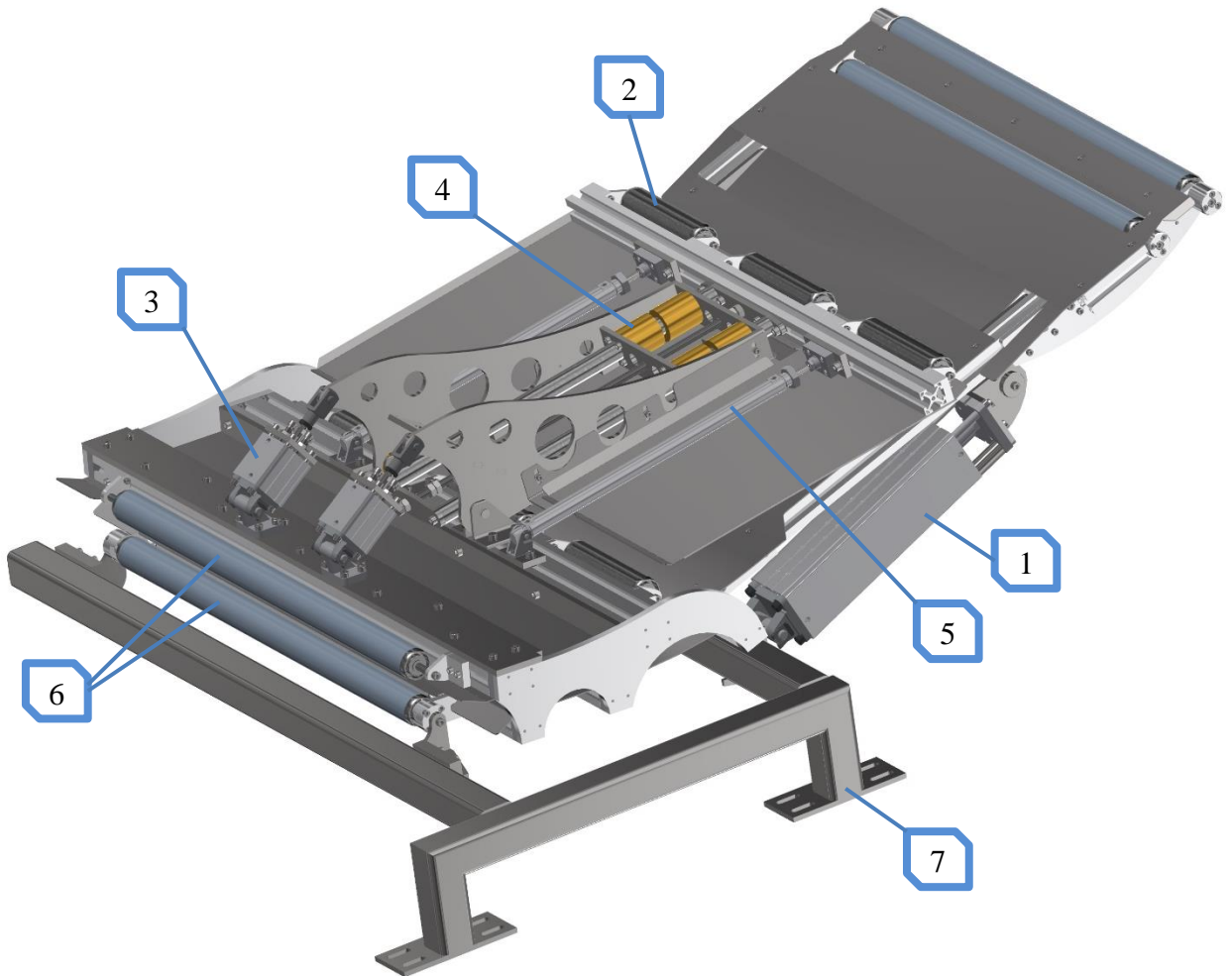


Abbildung 40: Einführarm eingefahren, Quelle: Eigene Darstellung.

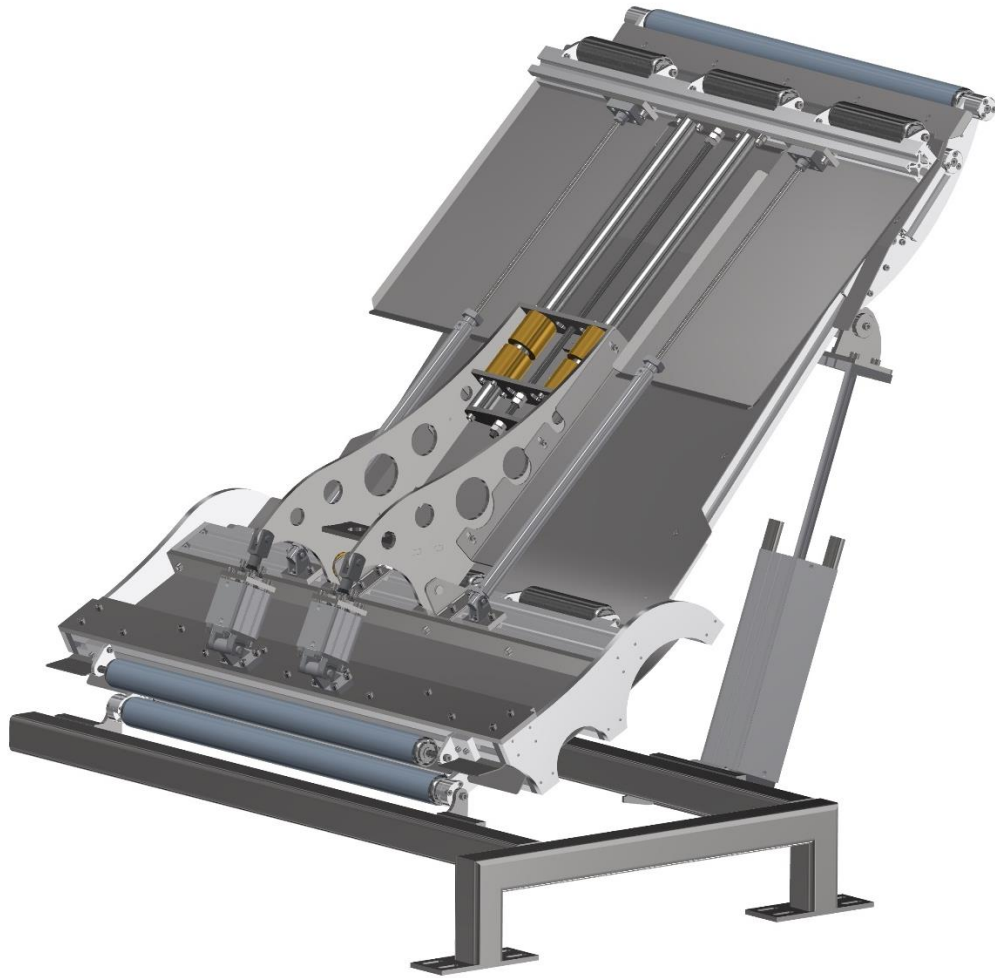


Abbildung 41: Einführarm in Position zum Wickelbeginn, Quelle: Eigene Darstellung.

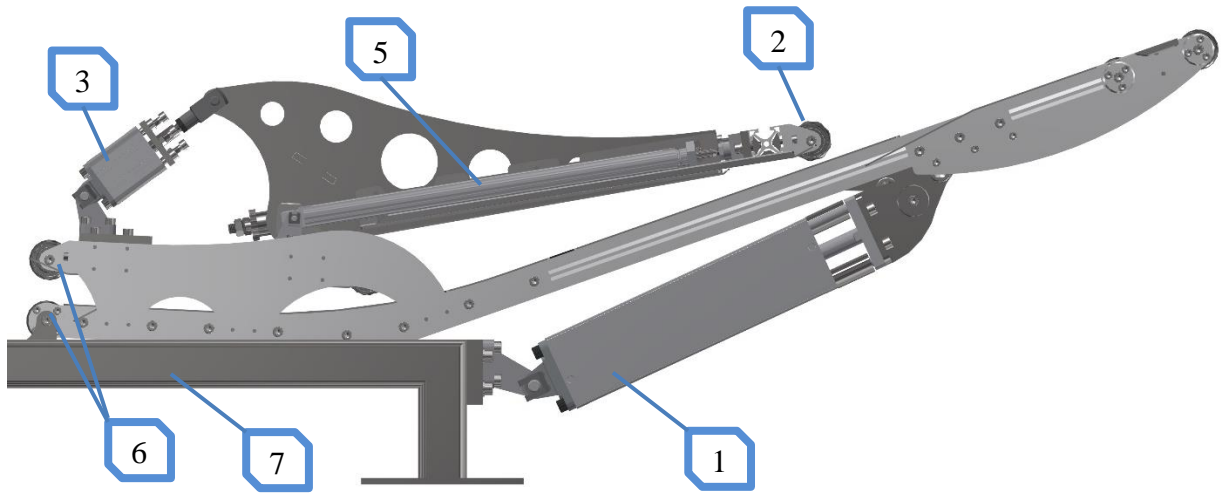


Abbildung 42: Einführarm Seitenansicht, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.8. Selbstklemmende Klemmpratzen

Wie in Kapitel 3.7 erwähnt wird für den Wickelbeginn der Platte ein abnehmbarer Mechanismus konstruiert, der die Platte für die ersten Wicklungen sicher an der Haspel hält. Der Mechanismus wird wie in Abbildung 43 dargestellt an der seitlichen Scheibe der Haspel eingehängt. Anschließend wird der Hebel des Kniehebelmechanismus (Abbildung 45 Nr.1) umgelegt und so die komplette Einheit fixiert. Dies kann bereits in der Vorbereitung, bevor sich die Haspel in der Anlage befindet, geschehen.

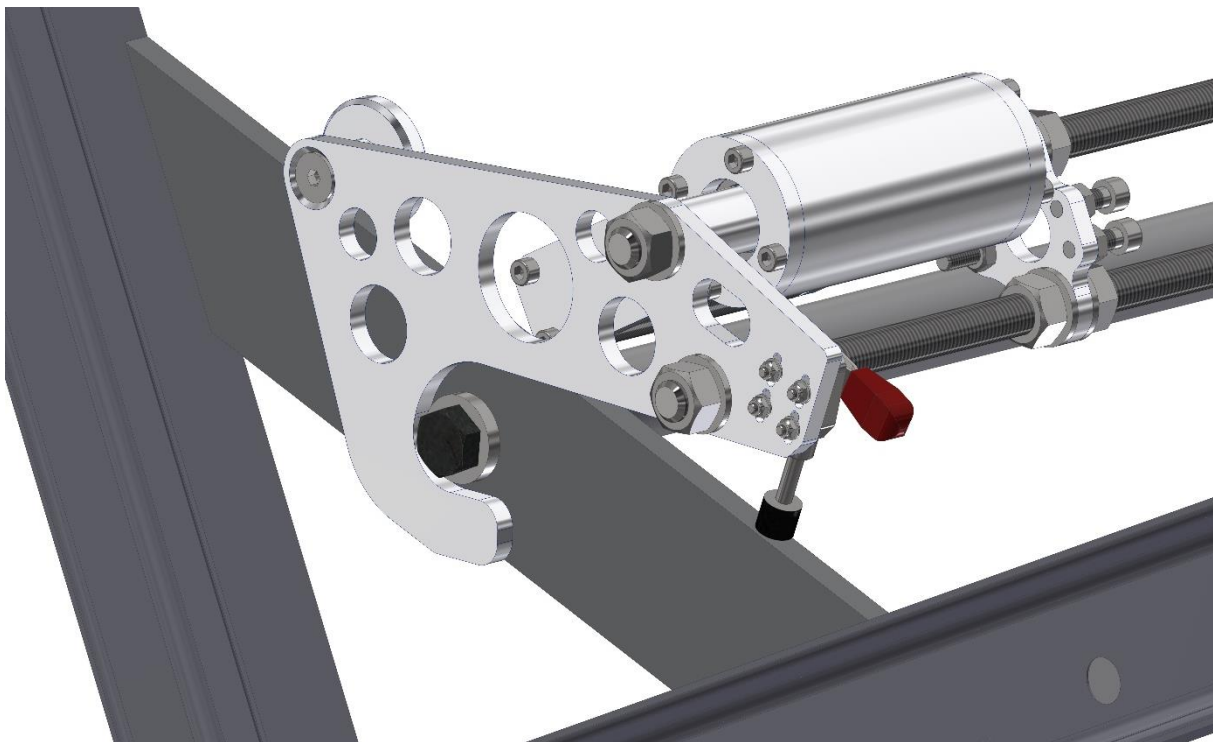


Abbildung 43: Mechanismus an der Haspel eingehängt, Quelle: Eigene Darstellung.

Da der Haken, der an der Scheibe anliegt, zum Ende hin dicker wird, ist die Einheit auch in Längsrichtung des Flacheisens der Haspel fixiert. Zur Klemmung der Platte werden gerändelte Rohre verwendet. Die Gesamte Klemmeinheit wird mit Federn vorgespannt. Diese sind an den Schrauben (Abbildung 45 Nr.3) eingehängt und können über Langlöcher (Abbildung 45 Nr.2) justiert werden. So lässt sich die Vorspannung der Feder nach Bedarf einstellen. Sobald sich die Haspel in der Anlage befindet, muss diese ausgerichtet werden, da die Platte genau zwischen Klemmpratze und Haspelstab eingeführt werden muss. Damit die Ausrichtung der Haspel automatisiert geschehen kann, befindet sich an der Unterseite ein Reflektor der Firma Sick. Dieser Reflektor (Abbildung 45) wird von einem optischen Sensor, der am Gestell angebracht ist, erkannt. Über dieses Sensorsignal wird dann die Ausrichtung der Haspel gesteuert.

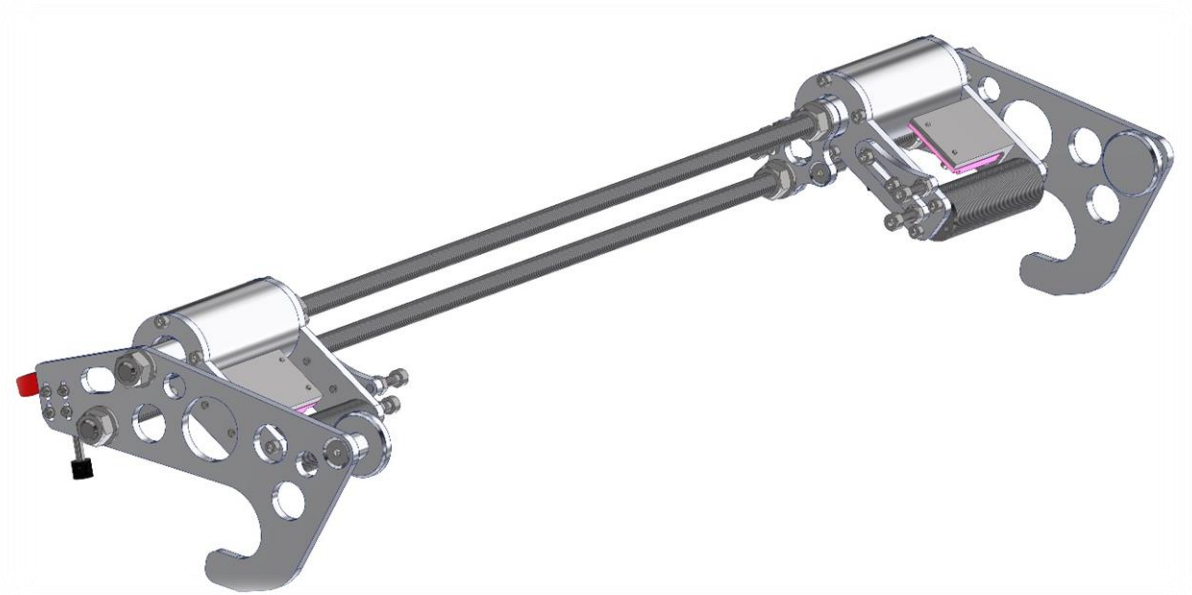


Abbildung 44: Selbstklemmende Klemmpratze, Quelle: Eigene Darstellung.

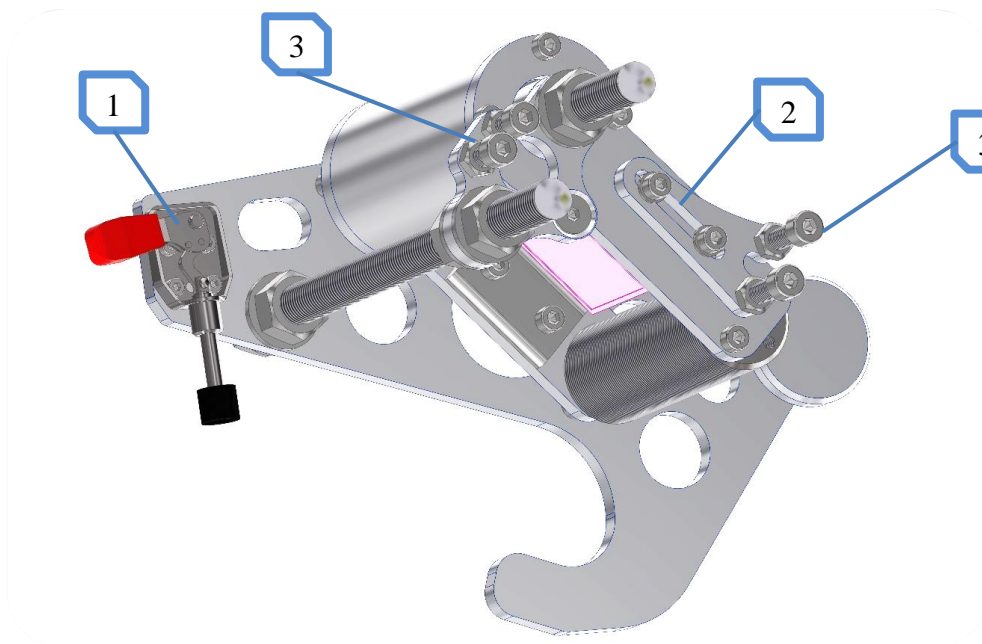


Abbildung 45: Klemmmechanismus im Schnitt mit Reflektor, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.9. Vorrichtung zum Klemmen der Platte auf der fertig gewickelten Haspel

Die fertig gewickelte Haspel wird erst nach dem Herausheben mit dem Stapler mit einem Plastikband umreift. Damit sich die Platte in der Zwischenzeit nicht abwickelt, wird diese während dem Herausheben mit dem in Abbildung 46 dargestellten Mechanismus gehalten. Der Mechanismus besteht aus einem verschiebbaren Arm, der die Haspel außen umgreift (Abbildung 48). Dieser Arm wird über eine Feder vorgespannt. Den Grundkörper bilden zwei Aluminium Traversen, die mit dazwischen befindlichen Distanzstücken verschraubt sind.

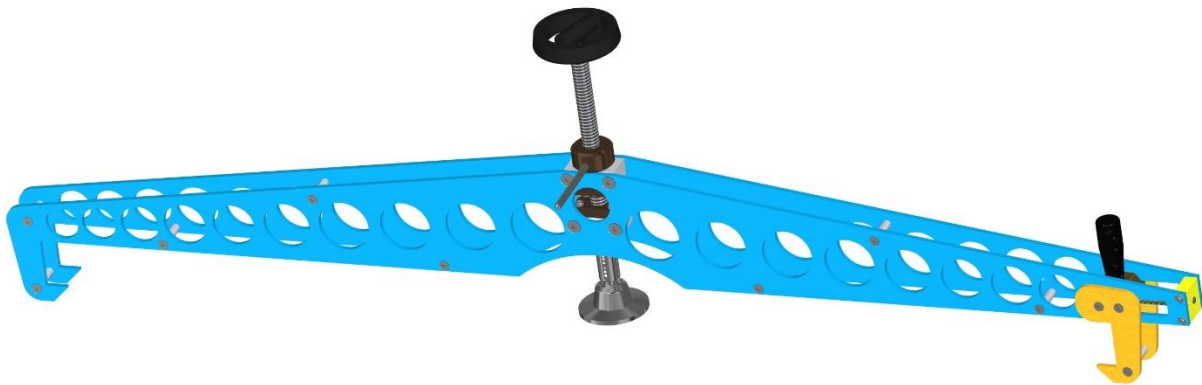


Abbildung 46: Komplettansicht Haltemechanismus, Quelle: Eigene Darstellung.

Die eigentliche Anpresskraft wird über eine Trapezgewindespindel aufgebracht. Die Lagerung der Spindel erfolgt in der Spindelmutter und zusätzlich in einer Führungsbuchse. Mit einem Klemmhebel kann die Spindel verspannt und somit gegen Losdrehen gesichert werden. Am Ende der Spindel befindet sich ein beweglicher Teller mit Kugelkopf. Als Ausgleich für die Nachgiebigkeit der Plattenwicklungen verfügt die Spindel am unteren Ende über eine Feder und kann so Nachgiebigkeiten ausgleichen.

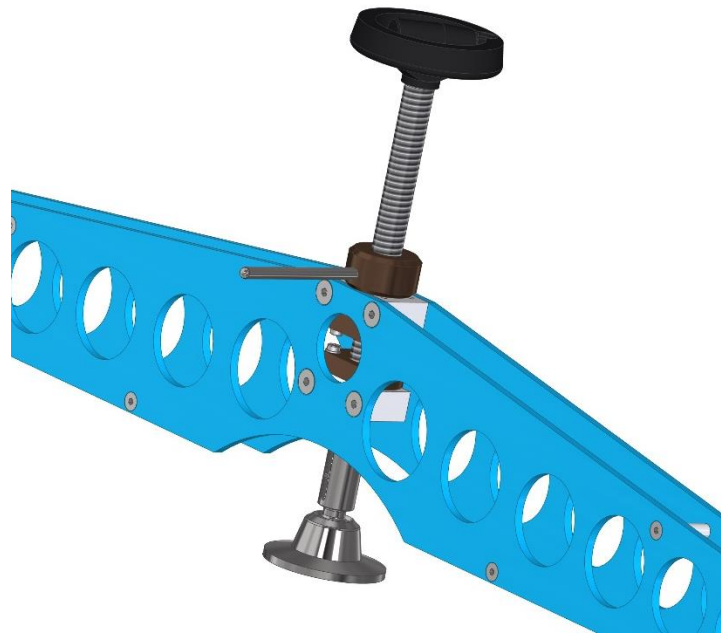


Abbildung 47: Spindel mit Arretierung und Federpaket, Quelle: Eigene Darstellung.

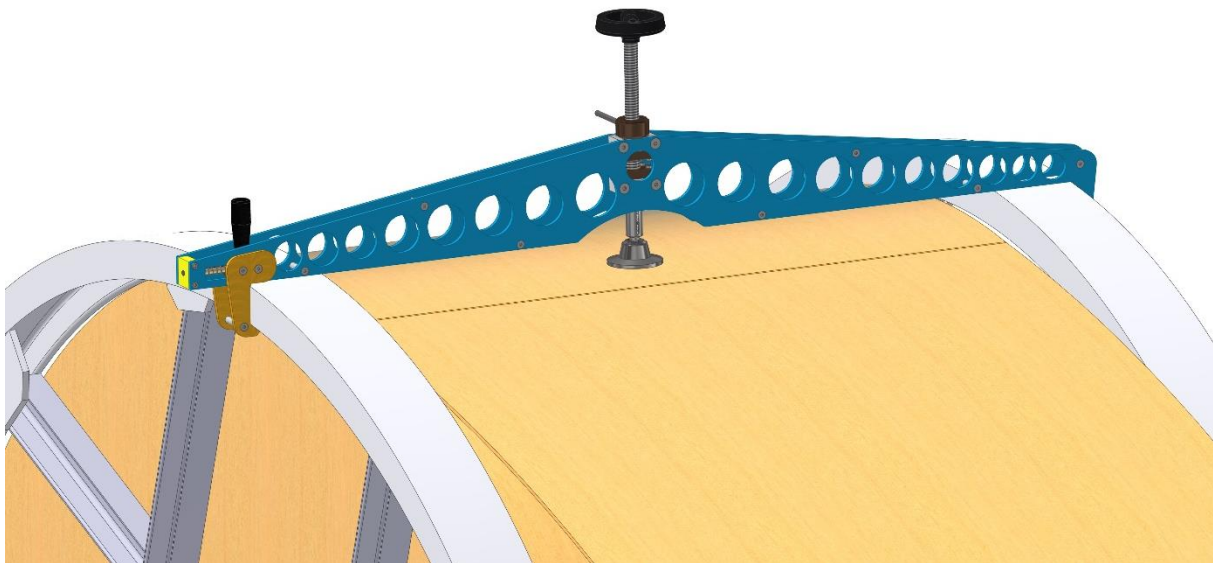


Abbildung 48: An der Haspel befestigter Haltemechanismus, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.10. Hinteres Vorschubaggregat

Das hintere Vorschubaggregat (Abbildung 49) hat die Aufgabe die Platte beim Wickelbeginn am hinteren Gestell zu positionieren. Dies wäre eventuell auch mit dem Vorschubaggregat des vorderen Gestells möglich, jedoch besteht, wenn die Platte über eine solch lange Distanz geschoben wird, die Gefahr, dass sich diese aufzuwölben beginnt. Der Aufbau ist ähnlich dem Aggregat am vorderen Gestell und verwendet die gleichen Komponenten.

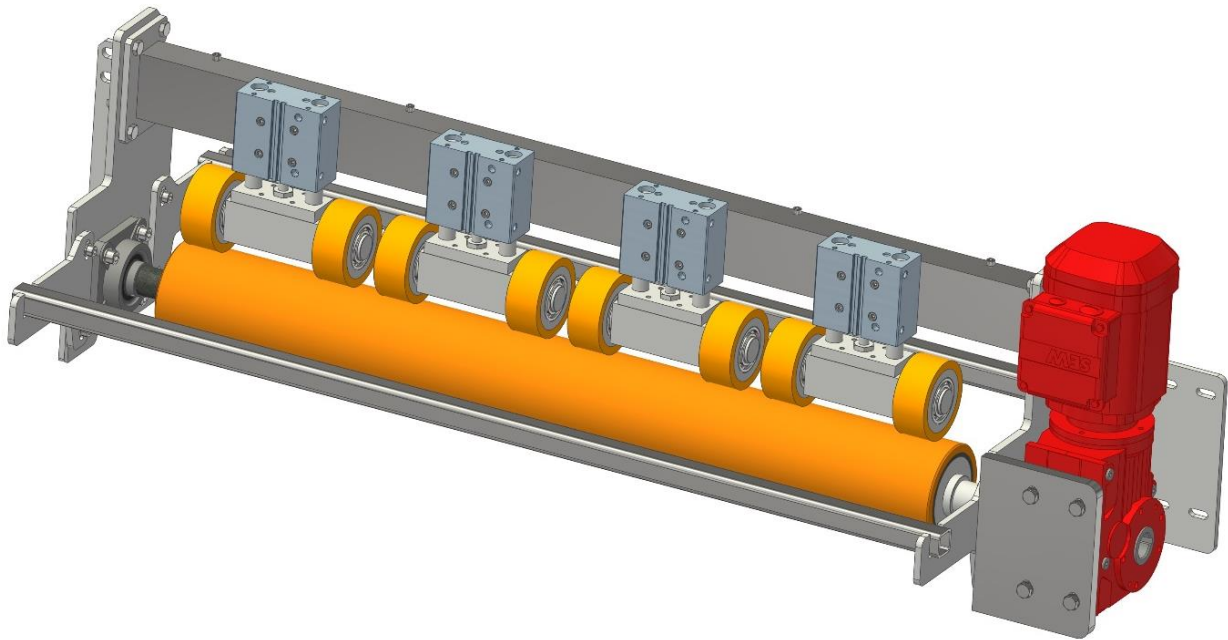


Abbildung 49: Vorschubaggregat am hinteren Gestell, Quelle: Eigene Darstellung

4.3.11. Begehung

Um die Haspel für das Herausheben mit dem Stapler zu sichern, ist es nötig, den in Abbildung 48 vorgestellten Mechanismus an der Haspel zu befestigen. An den hinteren Haspeln kann dies vom Boden aus geschehen. An den vorderen Haspeln muss der Arbeiter dafür auf die Begehung (Abbildung 50) steigen, da unter ihm die Platte hindurch zum hinteren Gestell läuft. Dazu befindet sich am hinteren Gestell eine Stiege, über die man auf die Begehung gelangt. Für die Lagerung der Gestelle kann diese Stiege hochgehoben und nach hinten geschoben werden (Abbildung 51). Dort wird sie mit einem Karabiner an einer Kette befestigt. Geführt wird die Stiege über vier Gleitführungen im Fest-Loslager-Prinzip.

Hinter der Stiege befindet sich ein steckbares Schutzgitter, welches den Arbeiter vor den rotierenden Haspeln des hinteren Gestells schützt. Zum Stapeln der Gestelle kann das Schutzgitter herausgenommen werden. Um sicherzustellen, dass nur mit montiertem Schutzgitter gearbeitet wird, soll dies über einen Sensor detektiert werden.

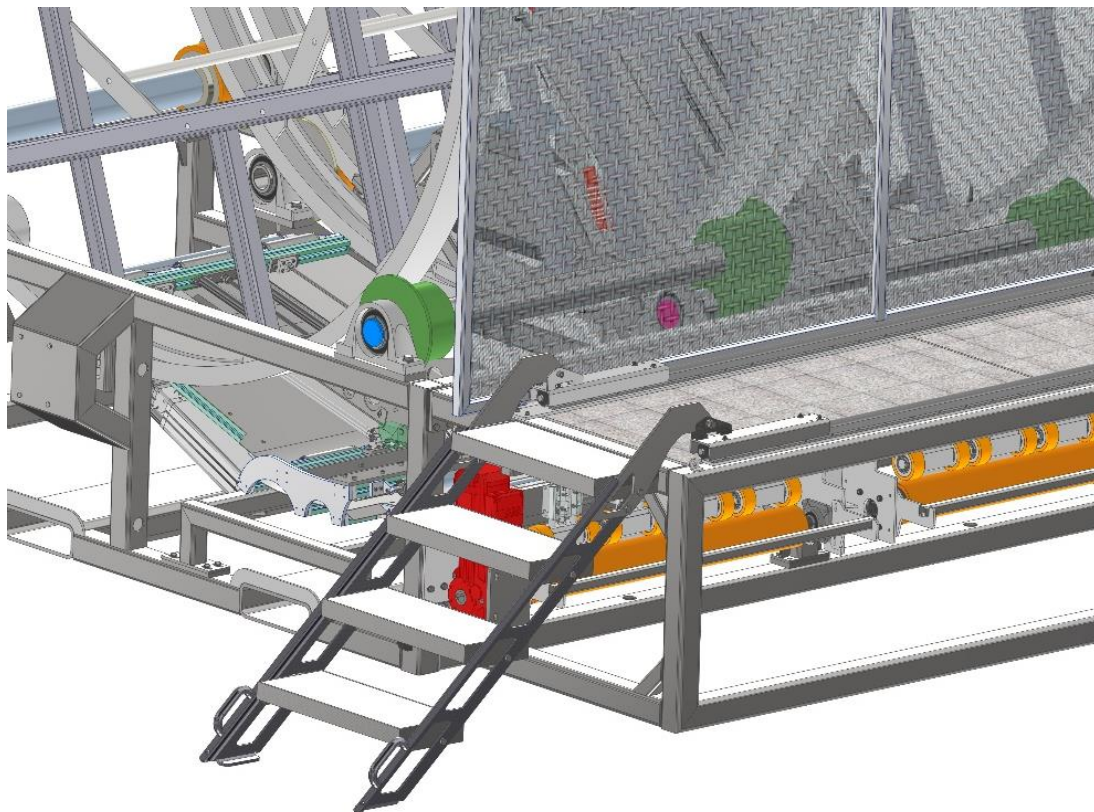


Abbildung 50: Stiege am hinteren Gestell, Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 51: hinteres Gestell mit Stiege, Quelle: Eigene Darstellung.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem neuen Konzept zum Aufwickeln der Spanplatte ist es möglich die Spanplatte ausschussfrei zu wickeln. Dadurch sind wie in Kap 2.4 aufgezeigt jährliche Einsparungen von über 70.000 Euro an Rohspanplatte und 10.000 Euro an Dekor und Gegenzugpapier möglich. Des Weiteren sind noch Einsparungen bei der Arbeitskraft denkbar, da der Haspelwechsel nun teilautomatisiert und ohne Zeitdruck ausgeführt werden kann. Mit dem neuen Konzept kann in der Zeit, in der an einem Gestell gewickelt wird, am anderen Gestell die Haspel getauscht werden. Somit wird eine viel gleichmäßigere Auslastung der Arbeitskräfte im Vergleich zur derzeitigen Situation (Seite 8) erreicht. Des Weiteren bietet das neue Konzept ein viel höheres Niveau an Sicherheit für das Bedienpersonal. Da die Arbeiten auch nicht mehr unter Zeitdruck ausgeführt werden, sinkt das Risiko für Arbeitsunfälle. So ist etwa Zeitdruck hauptverantwortlich für die hohen Unfallzahlen in der Instandhaltung von Maschinen.¹²

Laut Schätzung belaufen sich die Kosten für die komplette Anlage inkl. Steuerungstechnik und Programmierung auf etwa 350.000 Euro. Wenn man annimmt, dass mit dem neuen Konzept 90% des derzeitigen Ausschusskosten (derzeit ca. 80.000 Euro) eingespart werden können, ergibt dies pro Jahr etwa eine Ersparnis von 72.000 Euro. Rechnet man die Ersparnisse bei der Arbeitskraft nicht ein, ergibt sich eine überschlagsmäßige Amortisationszeit von etwas über 4,8 Jahren.

Jedoch spielt für die Investitionsentscheidung nicht nur die Wirtschaftlichkeit der Anlage eine Rolle, sondern es müssen auch die Fortschritte in der Arbeitssicherheit, die das neue Konzept ermöglicht, betrachtet werden.

¹² Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (2010), S. 7.

Literaturverzeichnis

ArbeitnehmerInnenschutzgesetz §60, *Allgemeine Bestimmungen über Arbeitsvorgänge*, (01.06.2015)

<https://www.jusline.at/gesetz/aschg/paragraf/60> [Stand 02.09.2019]

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt AUVA (03.2010): *Sicheres Instandhalten von Maschinen und Anlagen*, Version M050, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Wien
<http://www.auva.at/cdscontent/load?contentid=10008.544621&version=1520426834>
[Stand 01.09.2019]

Bernstein, Herbert. (2018): *Elektrotechnik Elektronik für Maschinenbauer*, 3. Auflage, Springer Vieweg, München

Zwicky, Fritz (1989): *Entdecken Erfinden Forschen im morphologischen Weltbild*, Baeschlin Verlag

Brecher, Christian; Weck, Manfred (2018): *Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 1: Maschinenarten und Anwendungsbereiche*, Springer Vieweg, Berlin

Bernstein, Herbert. (2016): *Sicherheits- und Antriebstechnik: Umweltgerechte Konstruktion und Normung der Maschinensicherheit*, Springer Vieweg, München

Deutsches Institut für Normen e.V. (Hrsg.) (2011): *Sicherheit von Maschinen- Allgemeine Gestaltungsleitsätze*

Svehla, Jakob; Winter, Brigitte (2013): *Stand der Technik der Span und Faserplattenindustrie - Beschreibung der Anlagen in Österreich und Luxembourg*, Umweltbundesamt, Wien
<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0438.pdf>
[Stand 02.09.2019]

Neudörfler, Alfred (2016): *Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte: Methoden und systematische Lösungssammlungen zur EG-Maschinenrichtlinie*, 7. Auflage, Springer Verlag, Bensheim

Universität Konstanz: *Risikomatrix* <https://www.uni-konstanz.de/agu/arbeitsicherheit/gefaehrungsbeurteilung/grundlagen/risikobewertung/>
[Stand. 04.09.2019]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema Spanplattenproduktion, Quelle: int. Dok. Fa Egger (modifiziert)	2
Abbildung 2: Bestehende Wickelgestelle, Quelle: Eigene Darstellung.	3
Abbildung 3: CAD-Modell Haspel mit Abmessungen mm, Quelle: Eigene Darstellung.....	3
Abbildung 4: Wickelgestell Antriebsseitig, Quelle: Eigene Darstellung.....	4
Abbildung 5: Schema der aktuellen Wickelanlage, Quelle: Eigene Darstellung.	5
Abbildung 6: Schema - Wickeln an der Bestandsanlage, Quelle: Eigene Darstellung	7
Abbildung 7: Wickeln der Platte; kurz vor dem Haspelwechsel, Quelle: Eigene Darstellung. ..	8
Abbildung 8: Risikomatrix, Quelle: Univers. Konstanz: <i>Risikomatrix</i>	13
Abbildung 9: Schema für die Risikoeinschätzung, Quelle: Bernstein (2016), S.34.....	14
Abbildung 10: Morphologischer Kasten der Gesamtlösung, Quelle: Eigene Darstellung.....	19
Abbildung 11: Ausgeführter Versuchsaufbau Schnittversuch, Quelle: Eigene Darstellung. ...	20
Abbildung 12: Berechnungsergebnisse zur Kinematik, Quelle: Eigene Darstellung.....	21
Abbildung 13: Detailaufnahme Messer, Quelle: Eigene Darstellung.....	22
Abbildung 14: Igus Gleitlinearführung Bauform T, Quelle: Fa. Igus.	23
Abbildung 15: Versuchsaufbau zum Wickeln der Platte, Quelle: Eigene Darstellung	24
Abbildung 16: Versuchsaufbau Wickelbeginn, Quelle: Eigene Darstellung.....	25
Abbildung 17: Schema- Einspreizen zwischen Haspelstäbe, Quelle: Eigene Darstellung.....	26
Abbildung 18: Versuch Platte zwischen Haspelstäbe einspreizen, Quelle: Eigene Darstellung.	27
Abbildung 19: Einhaken mittels aufgeklebtem U-Profil, Quelle: Eigene Darstellung.	28
Abbildung 20: Schema selbstklemmende Klemmpratze, Quelle: Eigene Darstellung.....	29
Abbildung 21: Selbstklemmende Klemmpratze, Quelle: Eigene Darstellung	29
Abbildung 22: Selbstklemmende Klemmpratze Versuch, Quelle: Eigene Darstellung	30
Abbildung 23: Schema der neu entwickelten Anlage, Quelle: Eigene Darstellung	32
Abbildung 24: Schematischer Prozessablauf Wickeln neu, Quelle: Eigene Darstellung.....	33
Abbildung 25: Gesamtansicht Wickelanlage, Quelle: Eigene Darstellung.....	35

Abbildung 26: FE-Analyse des Gestells, Quelle: Eigene Darstellung	37
Abbildung 27: Gestell mit mittig montiertem Abweiser, Quelle: Eigene Darstellung.....	38
Abbildung 28: Spannhebel mit Stapelschuh, Quelle: Eigene Darstellung.	38
Abbildung 29: Schema Haspelabweiser, Quelle: Eigene Darstellung.....	39
Abbildung 30: Abweisereinheit mit Rollenbatterien, Quelle: Eigene Darstellung.	40
Abbildung 31: Andrückzylindereinheit, Quelle: Eigene Darstellung.	41
Abbildung 32: Andrückzylinder mit Schutzrahmen, Quelle: Eigene Darstellung.....	41
Abbildung 33: Schneidaggregat mit Platte, Quelle: Eigene Darstellung.	43
Abbildung 34: Schneidaggregat Halbschnitt, Quelle: Eigene Darstellung.	44
Abbildung 35, Schnittansicht Schneidaggregat Einbauzustand, Quelle: Eigene Darstellung .	45
Abbildung 36: Antriebsmotor der Haspel auf Konsole, Quelle: Eigene Darstellung.	46
Abbildung 37: Kettentrieb mit Schutzgitter, Quelle: Eigene Darstellung.....	47
Abbildung 38: Querschnitt der angetriebenen Haspelwelle, Quelle: Eigene Darstellung.....	48
Abbildung 39: Gesamtansicht Haspelwelle, Quelle: Eigene Darstellung.....	49
Abbildung 40: Einführarm eingefahren, Quelle: Eigene Darstellung.	50
Abbildung 41: Einführarm in Position zum Wickelbeginn, Quelle: Eigene Darstellung.....	51
Abbildung 42: Einführarm Seitenansicht, Quelle: Eigene Darstellung.	52
Abbildung 43: Mechanismus an der Haspel eingehängt, Quelle: Eigene Darstellung.....	53
Abbildung 44: Selbstklemmende Klemmpratze, Quelle: Eigene Darstellung.	54
Abbildung 45: Klemmmechanismus im Schnitt mit Reflektor, Quelle: Eigene Darstellung.	54
Abbildung 46: Komplettansicht Haltemechanismus, Quelle: Eigene Darstellung.	55
Abbildung 47: Spindel mit Arretierung und Federpaket, Quelle: Eigene Darstellung.	56
Abbildung 48: An der Haspel befestigter Haltemechanismus, Quelle: Eigene Darstellung. ...	56
Abbildung 49: Vorschubaggregat am hinteren Gestell, Quelle: Eigene Darstellung.....	57
Abbildung 50: Stiege am hinteren Gestell, Quelle: Eigene Darstellung	58
Abbildung 51: hinteres Gestell mit Stiege, Quelle: Eigene Darstellung.	59
Abbildung 52: Berechnung Kniehebelkinematik, Quelle: Eigene Darstellung.	70

Abbildung 53: Berechnung Kniehebelmechanik 2, Quelle: Eigene Darstellung.....71
Abbildung 54: Auflagekräfte durch Haspel, Quelle: Eigene Darstellung.....72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausschnitt der Ergebnisse aus der Risikonanalyse16
Tabelle 2: Versuchsergebnisse Messervergleich, Quelle: Eigene Darstellung.22
Tabelle 3: Ergebnisse der Risikoanalyse, Quelle: Eigene Darstellung65

Anhang:

Anhang1: Ergebnisse der Risikoanalyse

Tabelle 3: Ergebnisse der Risikoanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.

#	Gefahr	Schwere vor Maßnahme	Wahrscheinlichkeit vor Maßnahme	Risikomaßzahl vor Maßnahme	Maßnahme	Schwere nach Maßnahme	Wahrscheinlichkeit nach Maßnahme	Risikomaßzahl
1	Gefahr elektrischer Schlag.	E	3	6	Ausführung der elektrischen Anlagenteile nach gängigen Normen und Vorschriften. Regelmäßige Überprüfung der elektrischen Anlage durch interne und externe Fachkräfte.	E	1	4
2	Gefahr bei Ausfall der Sicherheitseinrichtung.	E	3	6	Einsatz von geeigneten Komponenten. Nachweis der Eignung hinsichtlich Performance Level (PL) oder SIL.	E	1	4
3	Gefahr durch Lärm.	D	3	5	Gehörschutztragepflicht in der gesamten Halle.	D	1	3
4	Gefahr durch Holzstaub.	D	2	4	Im Normalbetrieb wird an den staubbildenden Stellen der Staub abgesaugt und der Produktion als Rohstoff erneut zugeführt. Bei Arbeiten mit erhöhter Staubkonzentration werden Filtermasken	D	1	3

					getragen. Für schwere Reinigungsarbeiten stehen atemluftabhängige Filtergeräte zur Verfügung.			
5	Gefahr des Einziehens und Quetschens an rotierenden Teilen.	D	3	5	Maschinenunterteil wird seitliche mittels Schutzgitter verschlossen.	D	1	3
6	Gefahr durch die drehenden Rollen bei unerlaubtem Zugang zum Gefahrenbereich während des Betriebes.	D	3	5	Überwachung des Gefahrenbereichs durch Laserscanner und/oder Lichtgitter. Zugang wird abhängig vom jeweiligen Anlagenzustand gestattet.	D	1	3
7	Gefahr durch herabfallende Rollen durch ungenaue Aufnahme bei Rollenwechsel.	E	3	6	Anschlag an Staplergabel zur Vorgabe der korrekten Aufnahmeposition. Es darf sich keine Person im Gefahrenbereich aufhalten.	E	1	4
8	Schnittgefahr am Trennmesser.	D	3	5	Trennmesser wird seitlich mittels Schutzgitter verschlossen.	D	1	3
9	Stoßgefahr durch den hinten befindlichen Roboter.	D	3	5	Sichere Abschaltung über die Steuerung.	D	1	3

10	Stoßgefahr durch die linear bewegten Spanplatten.	D	3	5	Das bisherige manuelle Einfädeln der Platte in die Rolle wird durch einen automatischen Ablauf mit Plattenführung und automatischer Klemmung ersetzt.	D	1	3
11	Einzugsgefahr am Vorschub-aggregat	D	3	5	Zugang zu den Walzen mittels Schutzgitter versperren.	D	1	3
12	Gefahr durch entfernte Schutzmaßnahmen bei Reparaturtätigkeit.	D	3	5	Eigene Log Out / Tag Out Anweisung beachten.	D	1	3
13	Absturz von Arbeitspodesten.	B	2	2	Höhe der Podeste beträgt 83cm, eine Absturzsicherung ist daher nicht erforderlich. Podeste sind aus rutschhemmenden Gitterrosten gefertigt.	B	2	2
14	Gefahr vor erfasst werden durch zweites Rollenaggregat.	E	3	6	Abtrennung des zweiten Rollenaggregats durch steckbares Schutzgitter. Überwachung des gesteckten Gitters.	E	1	4
15	Quetschgefahr an Rollenführungszylindern.	D	2	4	Überwachung des Bereichs durch Laserscanner.	D	1	3
16	Gefahr durch unerlaubten Zugang	E	3	6	Überwachung des Bereichs durch Laserscanner.	E	1	4

	zum hinteren Bereich der Rollengestelle.							
17	Einzugsgefahr an den Rollen.	E	3	6	Im Normanbetrieb Absicherung der Gefahrenstellen mittels Laserscanner. Für den Reparaturbetrieb werden die Rollen zusätzlich mit einer Abdeckung versehen.	E	1	4
18	Quetschgefahr an der Einführrampe.	D	2	4	Überwachung des Bereichs durch Laserscanner.	D	1	3
19	Gefahr durch druckluftbetriebene Komponenten.	D	2	4	Entlüftung des betroffenen Anlagenteils bei Not Halt oder bei deaktivierter Station.	D	1	3
20	Gefahr durch nachtransportierte Spanplatten aus dem vorgelagerten Plattentransport.	C	3	4	Abschaltung des vorgelagerten Plattentransport.	C	1	2
21	Einzugsgefahr an Einführschlitz.	D	2	4	Schlitz mit <40mm Öffnung schützt vor Eingriff.	D	1	3
22	Stoßgefahr durch lose Platte bei Entnahme.	C	3	4	Eigene Arretiervorrichtung zur Entnahme. Die Transportarretierung wird außerhalb der Wickelanlage angebracht.	C	1	2

23	Gefahr durch unsichere Stapelung der einzelnen Gestelle, insbesondere beim Transport.	D	3	5	Aufnahmen für die Stapelung und Arretierung zum sicheren Transport vorgesehen.	D	1	3
----	---	---	---	---	--	---	---	---

Anhang 2: Berechnung Kniehebelkinematik

Abbildung 52 und Abbildung 53 zeigen die analytische Berechnung der Kniehebelmechanik mit den Abmessungen aus der Konstruktion. Um den Verlauf über den Winkelbereich $0^\circ < \alpha < 45^\circ$ zu erhalten, wurden für jeden ganzen Winkel die Werte berechnet.

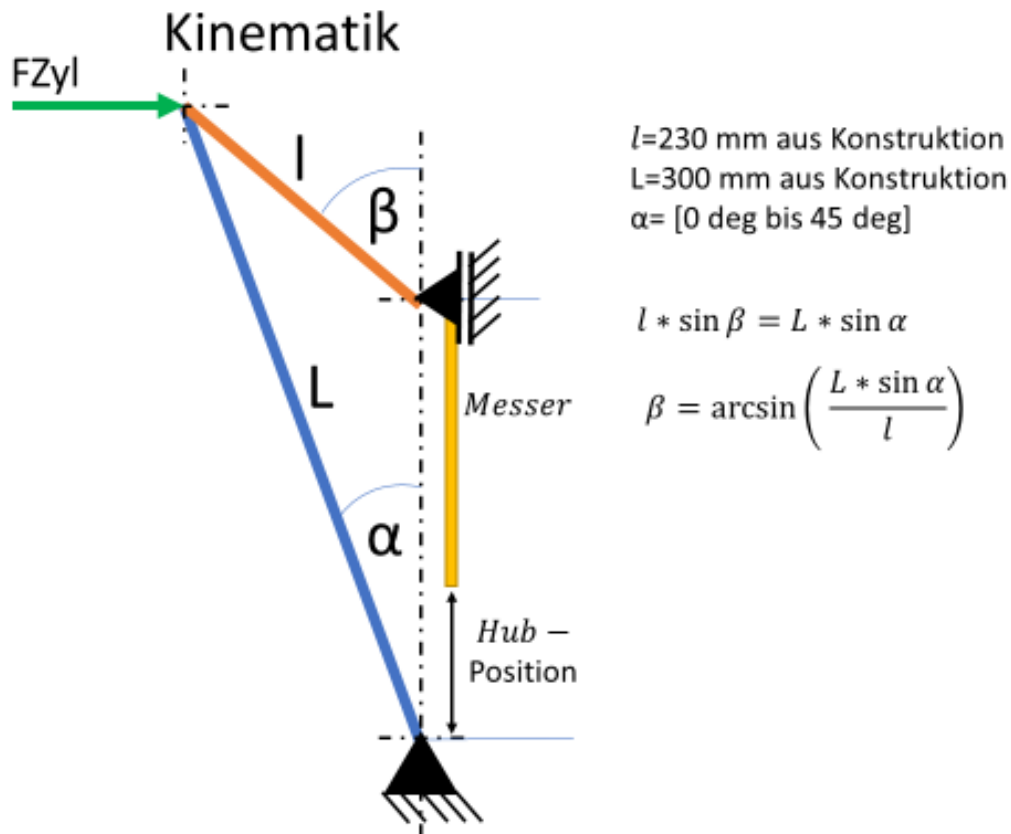


Abbildung 52: Berechnung Kniehebelkinematik, Quelle: Eigene Darstellung.

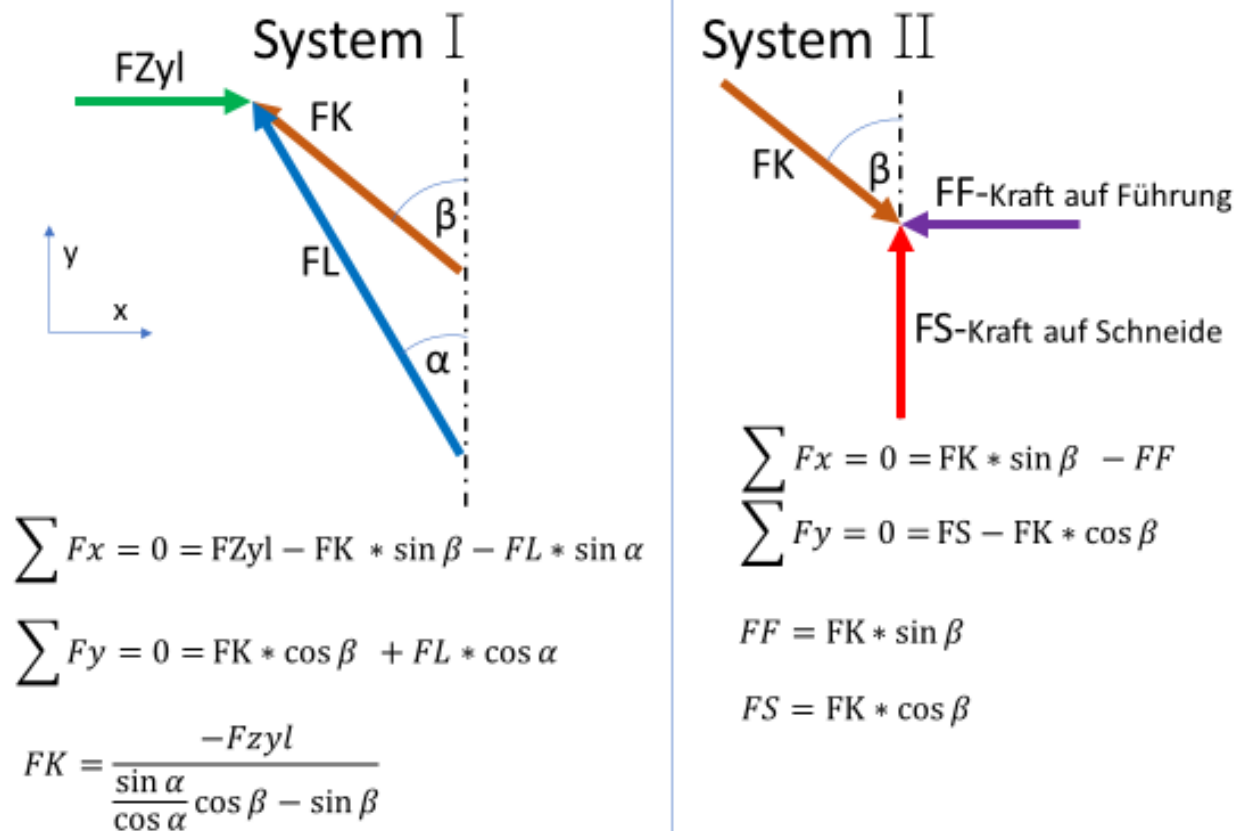


Abbildung 53: Berechnung Kniehebelmechanik 2, Quelle: Eigene Darstellung.

Anhang 3: Berechnung Auflagekräfte FE-Simulation

Abbildung 54 zeigt die Berechnung der Auflagekräfte einer vollen Haspel auf die Lagerstellen am Gestell. Jede Haspel wird von zwei Haspelwellen getragen. Jede Haspelwelle ist in zwei Punkten, die symmetrisch angeordnet sind, gelagert. Die Haspelwellen halten die Haspeln in einem unterschiedlichen Winkel, da so platzsparend konstruiert werden konnte. Tabelle 4 zeigt die berechneten Ergebnisse. Diese fanden so in der FE-Analyse des Gestells Eingang.

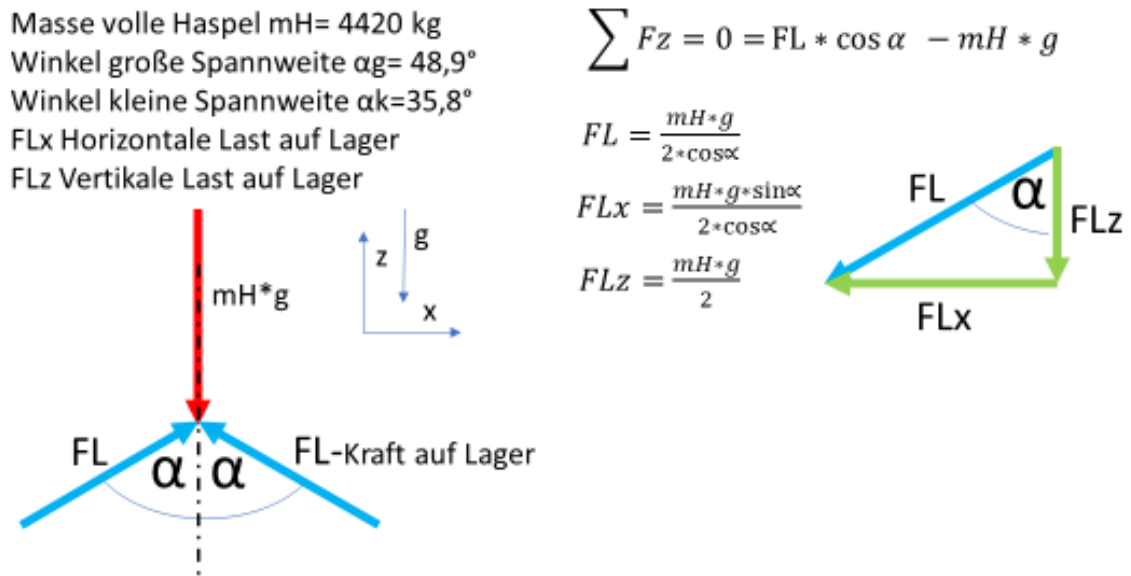


Abbildung 54: Auflagekräfte durch Haspel, Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 4: Kräfte der FE-Analyse, Quelle: Eigene Darstellung

Kraft in N	Winkel α , große Spannweite 48,9°	Winkel α , kleine Spannweite 35,85°
FLz	21680,1	21680,1
FLx	24843,61086	15664,96003
FL	32973,19724	26747,29348
FLz/2	10840,05	10840,05
FLx/2	12421,80543	7832,480013