



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Rodrigue De Long Mkuotchou Kankeu

### **Weiterentwicklung des Werkzeugkonzeptes an der hydraulischen Presse im Lernort digitale Umformtechnik**

**Rodrigue De Long Mkuotchou Kankeu**

**Weiterentwicklung des Werkzeugkonzeptes an der  
hydraulischen Presse im Lernort digitale Umformtechnik**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau / Entwicklung und Konstruktion  
am Department Maschinenbau und Produktion  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christian Müller

Zweitprüfer: Dipl. -Ing. Benjamin Remmers

Ausgabedatum: 09.02.2021

Abgabedatum: 09.05.2021



## Aufgabenstellung

für die Bachelorthesis

von: **Herrn Rodrigue De Long Mkuotchou Kankeu**

Matrikel-Nummer.: 

### **Thema: Weiterentwicklung des Werkzeugkonzeptes an der hydraulischen Presse im Lernort Digitale Umformtechnik**

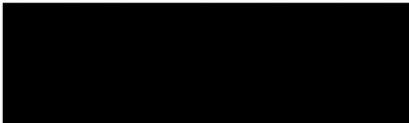
Umformmaschinen, wie z.B. hydraulische Pressen, sind dadurch gekennzeichnet, dass neben dem umzuformenden Material die Form des herzustellenden Werkstücks maßgeblich die Wahl des angewendeten Umformverfahrens und die Gestalt des Werkzeugs bestimmt. Damit verbunden beeinflusst die Stückzahl und Variantenvielfalt die Häufigkeit notwendiger Werkzeugwechsel. Für eine wettbewerbsfähige, wirtschaftliche Fertigung muss daher auch das Werkzeugkonzept das Erreichen der Ziele Qualität, Kosten und Zeit ermöglichen, wobei auch die Aspekte Ergonomie und Arbeitssicherheit berücksichtigt werden müssen. Um diese, im Grunde oft teilweise widersprüchlichen Zielsetzungen mit dem bestmöglichen Ergebnis zu erfüllen, kommen in der industriellen Praxis weit verbreitet Prinzipien einer schlanken Fertigung (Lean Production) zur Anwendung. Eine erfolgreiche Umsetzung dieser Prinzipien beruht dabei unter anderem auf Methoden wie beispielsweise 5S bzw. auch Schnellrüsten (Quick Change Over). Grundsätzlich lassen sich derartige Anforderungen auch auf den Laborbetrieb im Lernort Digitale Umformtechnik übertragen: verschiedene Module im Fach Produktionstechnik erfordern im gegebenen Stundenplan flexible und teilweise häufige Werkzeugwechsel an der hydraulischen Presse. Um die Ergebnisse der Laborversuche qualitativ sicherzustellen und vergleichbare Voraussetzungen für die Laborversuche zu schaffen, müssen Werkzeugeinbau und Werkzeugpositionierung möglichst genau, schnell und ergonomisch erfolgen.

Ziel der Arbeit ist die Erstellung eines Konzeptes zur Erleichterung des Werkzeugwechsels für die vorhandenen, unterschiedlichen Werkzeuge der hydraulischen Presse zum Tiefziehen, Stauchen und Sintern (Verdichten) im Lernort Digitale Umformtechnik. Dazu sind zunächst die Randbedingungen und Anforderungen nach der Art eines Pflichten-/Lastenheftes zu definieren. Darauf aufbauend sollen geeignete Vorrichtungen und Einzugshilfen für die Werkzeuge konzeptioniert und konstruiert werden, die eine reproduzierbare Positionierung der Werkzeuge ermöglichen. Optional soll darüber hinaus ein weiterführender Konzeptentwurf für die Werkzeuglagerung und Bereitstellung der verschiedenen Umformwerkzeuge erstellt werden.

#### Schwerpunkte:

- Ermittlung der Randbedingungen und Anforderungen (Pflichten-/Lastenheft)
- Modellierung der Presse und des Bauraumes mit Umgebung (mit CATIA)
- Bestimmung der Werkzeugmassen
- Entwurf und Modellierung der Vorrichtungen
- Auswahl von Einzugs-/Auszugshilfen für die Umformwerkzeuge

  
Datum

  
Erstprüfer

# Zusammenfassung

## **Name des Studierenden:**

Rodrigue De Long Mkuotchou Kankeu

## **Thema der Bachelorthesis:**

Weiterentwicklung des Werkzeugkonzeptes an der hydraulischen Presse im Lernort digitale Umformtechnik.

## **Stichworte:**

Umformtechnik, Hydraulische Pressmaschine, CAD - Konstruktion, Entwurf, Werkzeuglagerung, Konzeptentwurf.

## **Kurzzusammenfassung**

Der Kern dieser Arbeit ist der Entwurf bis zum Modell eines geeigneten Hilfsbauteils für die unterschiedlichen Umformwerkzeuge beim Werkzeugwechsel im Lernort digitale Umformtechnik. Dazu zählen auch die Auslegung und die Auswahl eines Hilfsmittels für Ein- und Auszug von Werkzeugen. Zudem wird zusätzlich ein weiterführender Konzeptentwurf für die Werkzeuglagerung und Bereitstellung der verschiedenen Umformwerkzeuge erstellt.

## **Name of student:**

Rodrigue De Long Mkuotchou Kankeu

## **Topic of the bachelor's thesis:**

Further development of the tool concept on the hydraulic press in the „Lernort digitale Umformtechnik“.

## **Keywords:**

Forming technology, hydraulic press, CAD – construction, design, tool storage, concept design.

## **Abstract**

The core of this work ist the design up to the model of a suitable auxiliary component for the different forming tools during the tool change in the „Lernort digitale Umformtechnik“. The design and selection of an auxiliary device for the insertion and removal of tools are also included. In addition, a further conceptual design for tool storage and provision of the various forming tools is developed.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>II</b>
<b>Symbolverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Einführung in die Thematik.....	1
1.2 Zielsetzung.....	1
<b>2 Methodische Entwicklung und Konstruktion</b> .....	<b>3</b>
2.1 Allgemeine Grundlagen.....	3
2.2 Konstruktionsmethodik nach VDI-Richtlinie 2221 .....	3
2.3 Vorgehensweise in der Konstruktionsmethodik .....	3
<b>3 Präsentation der Aufgabenstellung</b> .....	<b>6</b>
3.1 Aufgabenstellung .....	6
3.2 Ausgangssituation.....	7
3.3 Pressmaschine mit Umgebung.....	8
3.3.1 Aufbau und Funktionsbeschreibung.....	8
3.3.2 Umformwerkzeuge.....	10
<b>4 Entwicklungs- und Konstruktionsprozess der Vorrichtung</b> .....	<b>12</b>
4.1 Anforderungsliste für die Vorrichtungskonstruktion.....	12
4.2 Funktionsanalyse und Funktionsstruktur .....	14
4.3 Morphologischer Kasten.....	15
4.4 Beschreibung der Lösungsvarianten .....	17
4.5 Lösungsbewertung.....	19
4.6 Entwurf des ausgewählten Konzeptes für die Vorrichtung.....	23
4.6.1 Ermittlung der maßgebenden Belastungen.....	23
4.6.2 Auslegung der Verbindungsmittel .....	24
4.6.3 Auswahl eines Kunststoffstückes.....	27

4.6.4	Modellierung der Vorrichtung mit Maschinenumgebung .....	28
<b>5</b>	<b>Auswahl der Ein- und Auszugshilfen.....</b>	<b>30</b>
5.1	Ideenfindung .....	30
5.2	Beschreibung der Verschiedenen Systemlösungen.....	31
5.3	Lösungsbeurteilung.....	35
5.4	Bestimmung der Zugkraft .....	36
5.5	Auslegung der ausgewählten Lösungsvariante .....	38
<b>6</b>	<b>Konzeptentwurf für die Lagerung und die Bereitstellung von Werkzeugen .....</b>	<b>40</b>
6.1	Anforderungsliste für die Lagerung und Bereitstellung .....	40
6.2	Funktionsanalyse und Funktionsstruktur .....	42
6.3	Morphologischer Kasten.....	42
6.4	Präsentation der Lösungsvarianten .....	44
6.5	Lösungsbewertung.....	46
6.6	Entwurfszeichnung des Lagerungskonzepts.....	48
<b>7</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>51</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>53</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>A</b>

## Symbolverzeichnis

Symbolart	Einheit	Bezeichnung
$g_i$	1	Gewichtungsfaktor
$p_i$	1	Benotung für Kriterien
$w_i$	1	Wertigkeit
$m$	$kg$	Masse des schwersten Werkzeugs
$v_{max}$	$m/s$	Höhe Geschwindigkeit des Werkzeugs
$G$	$N$	Gewichtskraft des Werkzeugs
$p_0$	$kg \cdot m/s$	Impuls vor dem Stoß
$p_1$	$kg \cdot m/s$	Impuls nach dem Stoß
$d_p$	$kg \cdot m/s$	Impulsdifferenz
$d_t$	$s$	Zeitintervall
$F_t$	$N$	Stoßkraft
$v_0$	$m/s$	Geschwindigkeit des Werkzeugs vor dem Stoß
$v_1$	$m/s$	Geschwindigkeit des Werkzeugs nach dem Stoß
$F_Q$	$N$	Querkraft einer Schraube
$n$	1	Anzahl der Schraube
$F_{kl}$	$N$	Klemmkraft einer Schraube
$\mu_T$	1	Haltreibungszahl
$F_B$	$N$	Betriebskraft
$R_p^{0,2}$	$N/mm^2$	Dehngrenze bei 0,2%
$K$	1	Reduktionsfaktor
$K_A$	1	Anziehungsfaktor
$\beta$	1	Nachgiebigkeitsfaktor
$E$	$N/mm^2$	Elastizität Modul von Stahl
$f_z$	$mm$	Setzbetrag
$l_K$	$mm$	Klemmlänge einer Schraube
$A_s$	$mm^2$	Spannungsquerschnitt
$F_Z$	$N$	Zugkraft
$F_r$	$N$	Reibungskraft
$F_n$	$N$	Normalkraft
$F_g$	$N$	Gewichtskraft
$g$	$m/s^2$	Erdbeschleunigung
$F_{QB}$	$N$	Querkraft für die Bolzenschrauben

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
CAD	Computer Aided Design
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
5S	Selektieren-Systematisieren-Säuberung-Standardisieren-Selbstdisziplin
Lfd.	Laufend
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaften
TL	Teillösung
LV	Lösungsvariante
GL	Gleichung
ISO	Internationale Organisation für Normung
DIN	Deutsches Institut für Normung

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Anforderungsliste für Vorrichtungskonstruktion. ....	13
Tabelle 2. Morphologischer Kasten für Vorrichtungskonstruktion. ....	16
Tabelle 3. Morphologischer Kasten für Vorrichtungskonstruktion mit Lösungsvarianten. ....	17
Tabelle 4. Ableitung der Bewertungskriterium. ....	20
Tabelle 5. Gewichtungsmatrix für Vorrichtungskonstruktion.....	21
Tabelle 6. Wertigkeitsverfahren der Lösungsvarianten für Vorrichtungskonstruktion. ....	22
Tabelle 7. Gewichtungsmatrix für Ein- und Auszugshilfen. ....	35
Tabelle 8. Wertigkeitsverfahren der Lösungsansätze für Ein- und Auszugshilfen. ....	36
Tabelle 9. Anforderungsliste für Werkzeuglagerung und Bereitstellung. ....	41
Tabelle 10. Morphologischer Kasten mit farbigen Lösungsvarianten. ....	43

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Die Umgebung im Lernort Umformtechnik. ....	2
Abbildung 2. Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren [16, S.9].....	4
Abbildung 3. Generell Vorgehensweise für eine 5S-Methode [8]. ....	5
Abbildung 4. Arbeitsraum der Pressmaschine. ....	7
Abbildung 5. Beispiel für die aktuelle Werkzeuglagerung. ....	8
Abbildung 6. Hydraulikpresse im Lernort. ....	9
Abbildung 7. Werkzeug zum Tiefziehen.....	10
Abbildung 8. Werkzeug zum Stauchen.....	11
Abbildung 9. Allgemeine Black-Box Darstellung. ....	14
Abbildung 10. Black-Box Darstellung der Vorrichtungskonstruktion.....	15
Abbildung 11. Lösungsvariante 1 für Vorrichtungskonstruktion.....	18
Abbildung 12. Lösungsvariante 2 für Vorrichtungskonstruktion.....	18
Abbildung 13. Lösungsvariante 3 für Vorrichtungskonstruktion.....	19
Abbildung 14. Ausblick für das Verbindungselement. ....	24
Abbildung 15. Tabelle für Haftreibungszahl [5, S.110b]. ....	26
Abbildung 16. Tabelle für Schraubenauswahl [5, S.98].....	27
Abbildung 17. Ein Beispiel für Polyamid-Kunststoff [10].....	28
Abbildung 18. Darstellung von der Vorrichtungskonstruktion.....	29
Abbildung 19. Modell für die zusätzliche Platte in einer Einbausituation. ....	29
Abbildung 20. Ausblick auf der Vorderseite der Presse. ....	30
Abbildung 21. Prinzipschema für Lösung 1 beim Einzug. ....	32
Abbildung 22. Prinzipschema für Lösung 1 beim Auszug. ....	33
Abbildung 23. Prinzipschema für Lösung 2 beim Einzug. ....	34
Abbildung 24. Prinzipschema für Lösung 2 beim Auszug. ....	34
Abbildung 25. Freischnitt zur Berechnung der Zugkraft. ....	37
Abbildung 26. Ein Modell für die Seilwinde [12]. ....	38
Abbildung 27. Beispielansicht der Stahlkette von Seiloo [13].....	39
Abbildung 28. Black-Box für den Konzeptentwurf von Werkzeuglagerung und Bereitstellung. .....	42
Abbildung 29. Konzept 1 für Lagerung und Bereitstellung von Werkzeugen.....	44
Abbildung 30. Konzept 2 für Lagerung und Bereitstellung von Werkzeugen.....	45
Abbildung 31. Konzept 3 für Lagerung und Bereitstellung von Werkzeugen.....	46
Abbildung 32. Übersicht des Raumes hinter der Pressmaschine.....	47
Abbildung 33. Das Hochregal.....	48
Abbildung 34. Das Hochhubsystem.....	49

Abbildung 35. Das Förderband.....	50
Abbildung 36. Darstellung der gesamten Anlage.....	50

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung in die Thematik

Wie andere Studienschwerpunkte, zählt die Produktionstechnik zu einer der vier Studienrichtungen des Maschinenbau-Departements an der HAW. Dort werden mehrere Lehrveranstaltungen praxisbezogen durchgeführt: Wie zum Beispiel digitale Umformtechnik. Der Lernort digitale Umformtechnik stellt einen physischen Raum und eine virtuelle Plattform für die Lehrenden und die Studierenden, sowie Unternehmen der Metropolregion Hamburg zum Themenbereich Industrie 4.0 und Digitalisierung im Bereich der Umformtechnik dar [1].

Im Lernort digitale Umformtechnik soll ein Konzept zur Erleichterung des Werkzeugwechsels an der hydraulischen Presse erstellt werden. Optional ist auch die Erstellung eines Konzeptentwurfs für die Werkzeuglagerung.

Grundsätzlich gehören zu dem Lernort digitale Umformtechnik mehrere Werkzeugmaschinen, die abhängig vom Laborversuch zum Einsatz kommen. Die hydraulische Presse ist dabei eine der Umformmaschinen, mit der Werkstücke maßgeblich die Wahl des angewendeten Umformverfahrens hergestellt werden. Der Umformprozess ist am erfolgreichsten, wenn ein geeignetes umzuformende Werkstück und Werkzeug ausgewählt werden.

An der hydraulischen Presse im Lernraum für digitale Umformtechnik finden mehrere Laborversuche in unterschiedlichen Modulen der Bachelor- und Masterstudiengänge statt. Aufgrund der nacheinander durchgeführten Laborversuche an einer einzelnen Werkzeugmaschine muss das Werkzeug an der hydraulischen Presse gewechselt werden. Damit der Werkzeugwechsel ergonomisch, flexibel sowie unter geringen Arbeitsaufwand durchgeführt werden kann, ist es notwendig, ein neuartiges Werkzeugwechselkonzept zu entwickeln und letztlich mit dem dafür zur Verfügung stehenden Hilfsmittel zu konstruieren.

Zunächst ist ein Verständnis für die aktuelle Ausgangssituation an der hydraulischen Presse aufzubauen. Daraus sollen grundsätzliche Randbedingungen sowie Anforderungen abgeleitet, Lösungsmöglichkeiten dargestellt und schließlich ein Werkzeugwechselkonzept entworfen werden.

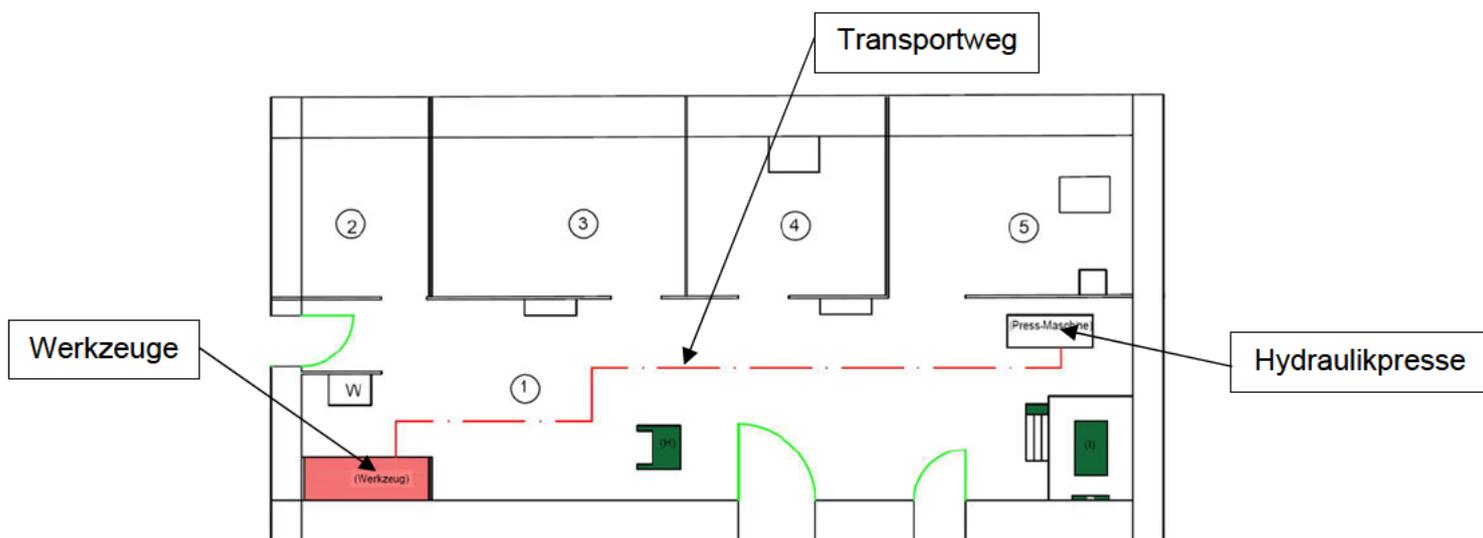
## 1.2 Zielsetzung

Aufgrund der hohen Masse von umformtechnischen Werkzeugen, ist der Werkzeugwechsel mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, diesen

Arbeitsaufwand bei dem Werkzeugwechsel an der Hydraulikpresse, durch die Konstruktion eines Hilfsbauteils, für die Laborbetreuer zu senken und ergonomisch zu gestalten.

Mit Hilfe von den noch zu definierenden Anforderungen ist eine geeignete Vorrichtung für die vorhandenen Umformwerkzeuge zu konzipieren und zu konstruieren. Zudem sind auch Ein- und Auszugshilfen beim Werkzeugwechsel dazu auszuwählen.

Darüber hinaus soll ein weiterführendes Konzept für die Werkzeuglagerung und Bereitstellung der verschiedenen Umformwerkzeuge entworfen werden, denn die Lagerung der vorhandenen Umformwerkzeuge ist zurzeit in räumlicher Entfernung (siehe Abbildung 1) von der Hydraulikpresse auf Paletten und im Hochregal.



**Abbildung 1.** Die Umgebung im Lernort Umformtechnik.

Es wird in Abbildung 1 gezeigt, wie der Lernort digitale Umformtechnik gebaut ist. Darauf ist der Transportweg (1) mit der roten Linie markiert. (2), (3), (4) und (5) sind die Laborräume für Fertigungstechnik. Unten rechts in der Abbildung ist eine andere Pressmaschine (Spindelpresse) zu finden.

## **2 Methodische Entwicklung und Konstruktion**

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen und Kenntnisse zur Konzeption und Entwicklung von technischen Systemen und Produkten definiert.

### **2.1 Allgemeine Grundlagen**

Die Konstruktionstätigkeit war historisch gesehen bis zum Ende des 19. Jahrhunderts eine künstlerische intuitive Aufgabe. Aus diesem Grund konnten durch bestimmte Veranlagung im Zusammenhang mit einer längeren Arbeitserfahrung konstruktive Tätigkeiten erlernt werden [15, S.1]. Dennoch waren Gedanken und Lösungswege des damaligen Konstrukteurs für Außenstehende nicht nachvollziehbar, da die Konstruktionsprozesse fehlten.

Die ersten diskursiven Ansätze für den Konstruktionsablauf erfolgten Mitte des 19. Jahrhunderts und wurden zur Konstruktionsmethodik stetig weiterentwickelt. Im heutigen Konstruktionsbereich lässt sich die VDI 2221 häufig als Konstruktionsmethodik nennen, die erst seit 1993 vorliegt.

### **2.2 Konstruktionsmethodik nach VDI-Richtlinie 2221**

Die Richtlinie VDI 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ beschreibt den Arbeitsschritt des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses. Dabei wird ein Gesamtproblem in Teilaufgaben aufgeteilt und diese gelöst. Dies ermöglicht ein effizientes Vorgehen bei der Konstruktion, aufgrund kleinerer Arbeitspakete und einer schnelleren Validierung einer Konstruktion [16].

Für eine praktische Anwendung der VDI 2221 sind, Anforderungen an das zu entwickelnde technische Produkt ebenfalls, spezifische Anpassungen der aufgeführten Inhalte notwendig. Die spezifischen Anpassungen erfolgen branchen- und produktabhängig, unter Zuhilfenahme weiterer Normen und Richtlinien.

### **2.3 Vorgehensweise in der Konstruktionsmethodik**

Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess lässt sich nach VDI 2221 [16, S.9] in die vier folgenden Phasen unterteilen:

- Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung
- Konzipieren
- Entwerfen
- Ausarbeiten

In nachfolgender Abbildung 2 zeigen sich die einzelnen Entwicklungs- und Konstruktionsphasen. Dabei ist zu erkennen, dass die einzelnen Arbeitsschritte in den Phasen nicht klar voneinander zu trennen sind. Die Entwicklung eines Produktes ist iteratives Vorgehen, das Vor- oder Rückwärtsspringen innerhalb des Ablaufschemas enthält.

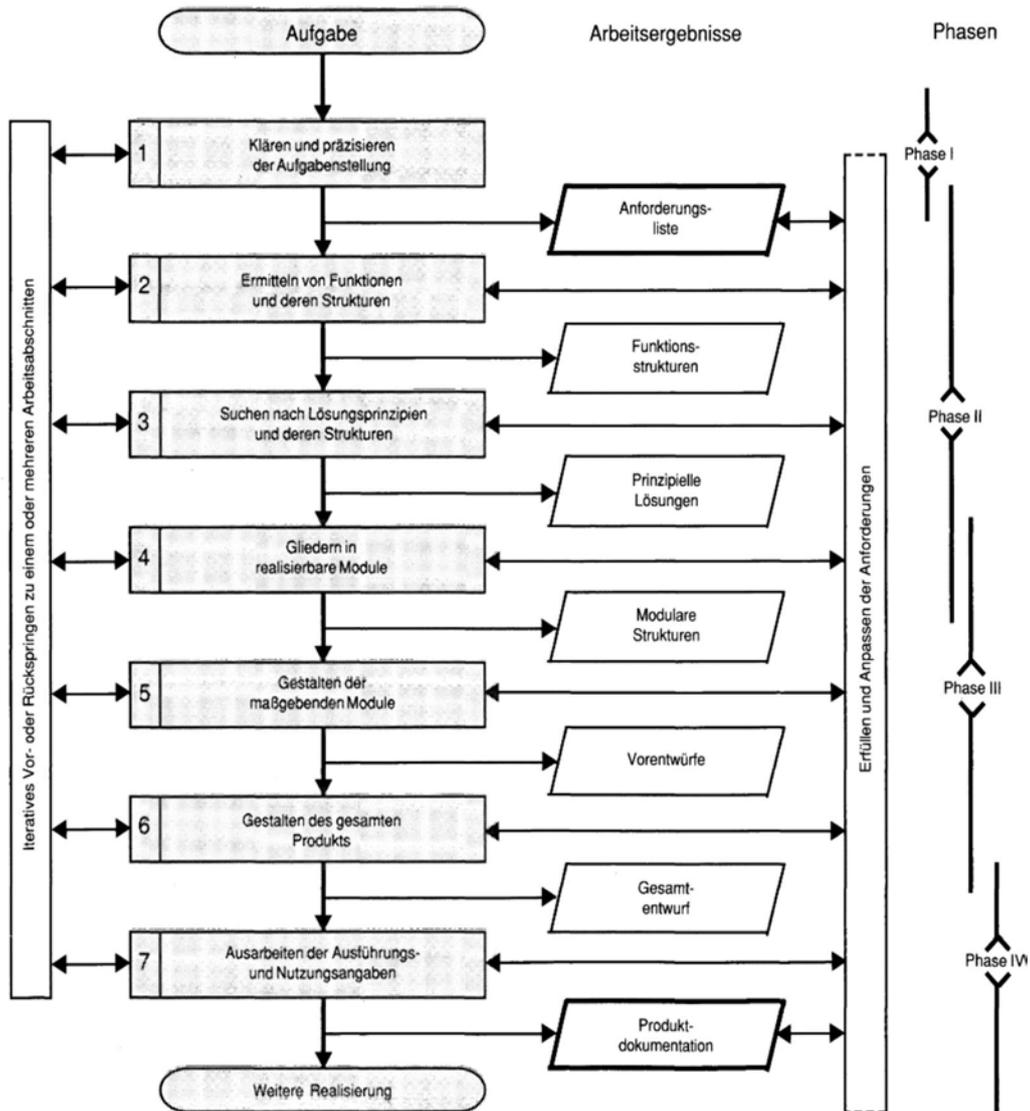


Abbildung 2. Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren [16, S.9].

Für die Konstruktionsphasen wird auch die 5S-Methode berücksichtigt. Die 5S-Methode ist eine systematische Vorgehensweise zur Gestaltung der eigenen Arbeitsumgebung und ermöglicht es auf strukturierte und systematische Weise Verschwendung und Verluste in einem Prozess oder an einer Anlage zu erkennen und zu beseitigen [11]. Sie beinhaltet die folgenden fünf Begriffe: Selektieren, Systematisieren, Säuberung, Standardisieren und Selbstdisziplin. In nachfolgender Abbildung 3 ist dabei der Ablauf durch die genannten Begriffe kurz und schnell beschrieben.



**Abbildung 3.** Generell Vorgehensweise für eine 5S-Methode [8].

## 3 Präsentation der Aufgabenstellung

In diesem Kapitel wird ausführlich auf die Aufgabenstellung dieser Bachelorthesis und die Ausgangssituation mit der Umgebung im Laborraum eingegangen.

### 3.1 Aufgabenstellung

Die durchgeführten Laborversuche an der Hydraulikpresse sind das Tiefziehen, das Stauchen und das Verdichten. Von einem Verfahren zu einem anderen muss das Werkzeug der Presse gewechselt werden. Es ist sehr wichtig, dass die Umformwerkzeuge zur bestmöglichen Erschaffung der Laborversuchsergebnisse exakt auf dem Maschinentisch zentriert und mit Hilfe von vier Keilen befestigt werden. Der Werkzeugwechsel wird durch den Laborbetreuer manuell durchgeführt. Durch den manuellen Wechsel des Werkzeugs ist ein hoher Zeitaufwand verbunden. Dadurch ist die Flexibilität des Laborplanes sehr eingeschränkt.

Vor dem Hintergrund einer hohen Auslastung und Belegung der Hydraulikpresse durch die Laborteilnehmer und anderen Studenten stellt sich die Frage, nach einer geeigneten Vorrichtung für die vorhandenen und unterschiedlichen Umformwerkzeuge zur Erleichterung der Werkzeugpositionierung, um den Werkzeugwechsel schnell und kräftefrei ausführen zu können.

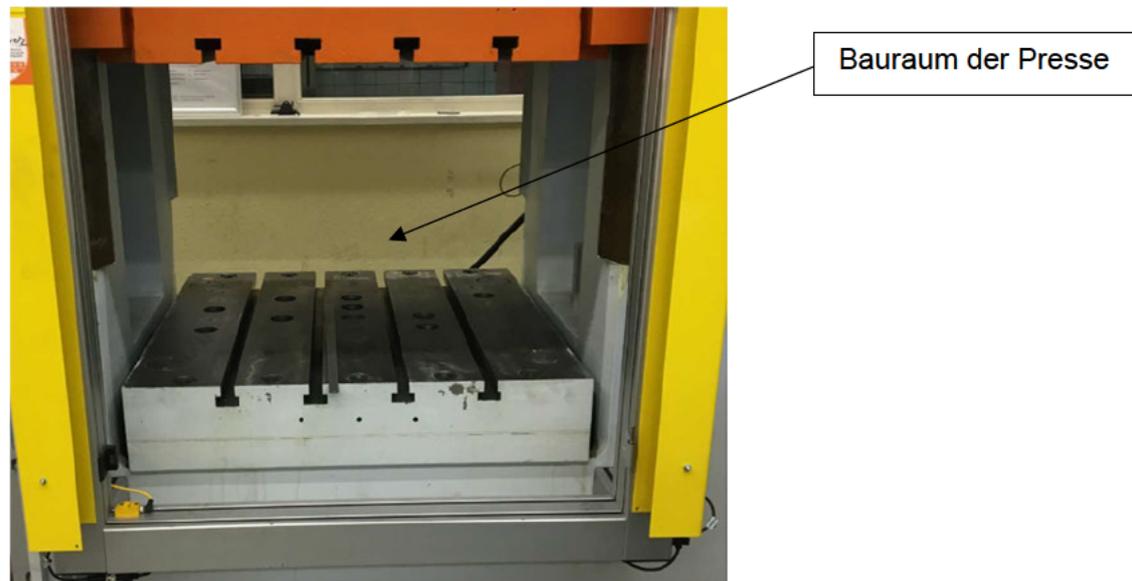
Außerdem soll ein weiterführendes Konzept für die Werkzeuglagerung entworfen werden, um den Transportweg des Werkzeugs zu minimieren und die Anzahl der verfügbaren Plätze für Werkzeuge zu erhöhen. Dies erhöht die Arbeitssicherheit im Labor, da Stolpergefahren vermieden werden.

Bei der Konzeptentwicklung und der Konstruktion werden sowohl qualitative Ziele als auch den Arbeitsprozess des Werkzeugwechsels und die Ergonomie des Laborbetreuers berücksichtigt, der den Werkzeugwechsel durchführt.

Durch Betrachtung jeder Konstruktion und Präzisierung der Aufgabenstellung sollen Randbedingungen und Anforderungen je nach Entwurf ermittelt werden. Daraus wird eine passende Anforderungsliste in Form einer Tabelle erstellt, die in den Konstruktionsphasen angepasst werden kann, wenn sich während dieser Phasen ein geändertes Anforderungsprofil ergibt [16, S.9].

Danach sollen entwurfsabhängig mehrere Lösungsansätze entwickelt und mit den ermittelten Prozessanforderungen verglichen sowie bewertet werden. Der dabei ausgewählte Lösungsansatz wird konstruktiv in einem CAD-Modell umgesetzt. Hierzu zählt auch die Konstruktion des Bauraumes der Presse, der in Abbildung 4 dargestellt ist. Für die CAD-

Modelle erfolgt auch die Modellierung für das Werkzeuglagerungskonzept und die Bereitstellung verschiedener Umformwerkzeuge.



**Abbildung 4.** Arbeitsraum der Pressmaschine.

### 3.2 Ausgangssituation

Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, werden die Werkzeuge für die Hydraulikpresse im Laborraum auf Platten in einem Hochregal gelagert. Die Entfernung des Hochregals zur Hydraulikpresse beträgt circa zehn Meter. Trotz des Gewichts und der Gestalt dieser Werkzeuge, wird der Werkzeugwechsel per Hand, ohne Benutzung von Hilfsmitteln, durchgeführt. Der Werkzeugwechsel ist nachfolgend beschrieben.

Das zu montierende Werkzeug wird mittels eines Hubwagens aus dem Regal entnommen und zur Hydraulikpresse transportiert. Da die umformtechnischen Werkzeuge großvolumige Bauteile mit einer hohen Masse sind, muss beim Transport zur Werkzeugmaschine auf Hindernisse geachtet werden. Ist kein Werkzeug an der Presse verbaut, muss der Hubwagen mit dem schon angehobenen Werkzeug auf Augenmaß zentriert und vor der Hydraulikpresse positioniert werden. Danach muss das Werkzeug manuell und gleichmäßig in den Arbeitsraum der Maschine geschoben werden. Zum Ausrichten des Werkzeugs im Bauraum der Hydraulikpresse sind keine Anschläge oder Positionierungshilfen vorhanden. Ist das Werkzeug auf der Mitte des Maschinentischs positioniert, wird es mit vier Keilen hinten und vorne befestigt.



**Abbildung 5.** Beispiel für die aktuelle Werkzeuglagerung.

Ein Werkzeugwechsel benötigt eine Arbeitszeit von 45-60 min und wird wie beschrieben überwiegend manuell ausgeführt. Die hohe Arbeitszeit und der Aufwand ermöglichen keine Flexibilität.

### **3.3 Pressmaschine mit Umgebung**

In diesem Abschnitt wird die Hydraulikpresse und die zugehörigen Werkzeuge im Allgemeinen betrachtet und anschließend die Vorrichtungskonstruktion beschrieben. Dazu gehört ein kleines Funktionsprinzip der Maschine.

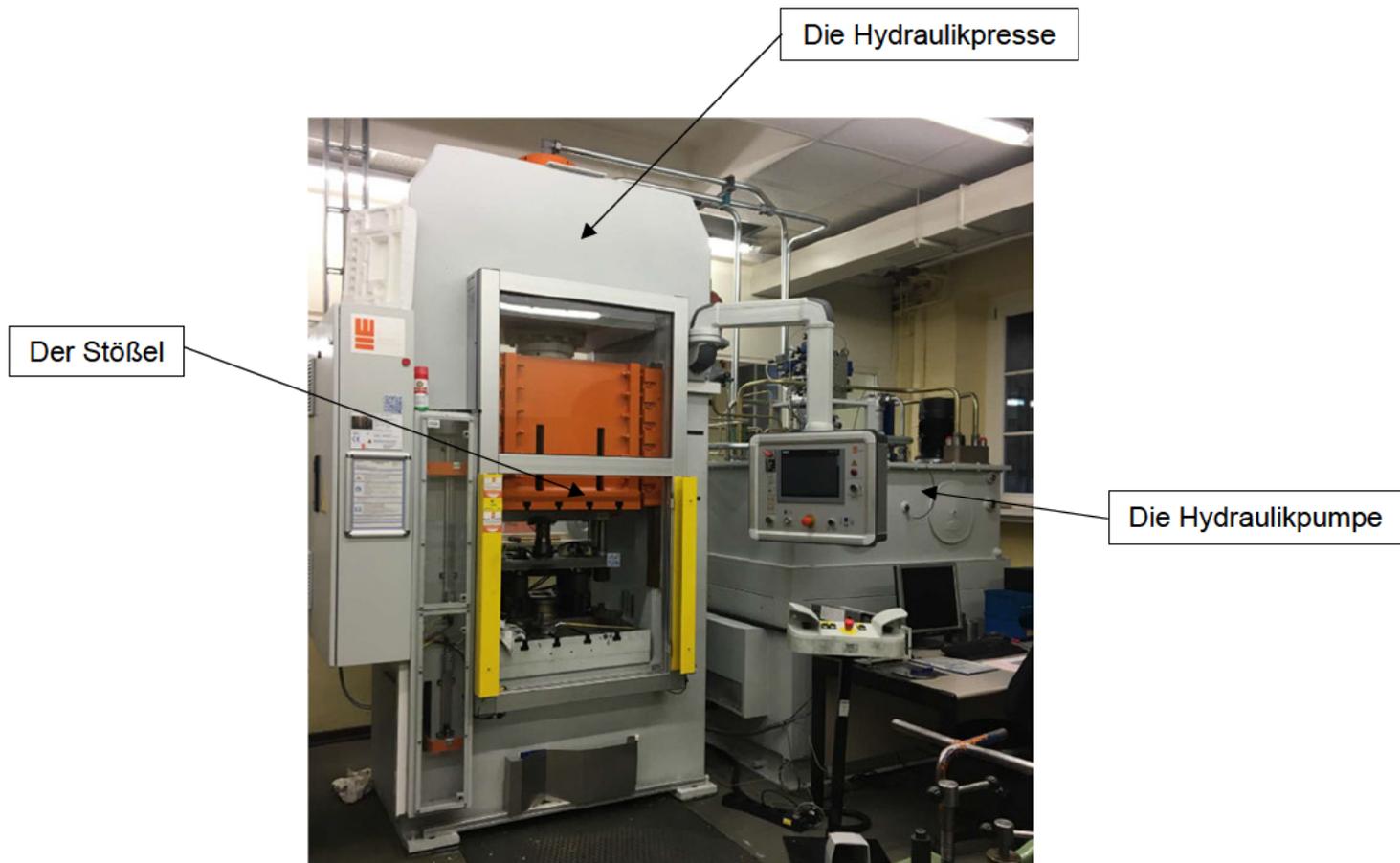
#### **3.3.1 Aufbau und Funktionsbeschreibung**

Die Hydraulikpresse, die eine von zwei Umformmaschinen am Standort digitale Umformtechnik ist, hat die Referenznummer Hymag-HDP7.1-100564-11 und wurde im Jahr 1973 von der Firma Hymag hergestellt. Im Jahr 2017 wurde die Hydraulikpresse von einem externen Dienstleister umgerüstet.

Die Hydraulikpresse besteht aus zwei Hauptelementen: die Hydraulikpumpe, die rechts in Abbildung 6 dargestellt ist und das Maschinengestell, das links zu sehen ist. Die Presse hat

eine Antriebsleistung von 37,5 KW, einen max. Hub von 400 mm und eine max. Presskraft von 1000 KN. Die Programmierung der pressenspezifischen Daten und Steuerung erfolgen digital über ein Touch-Display. Darüber hinaus weist die Hydraulikpresse ein Sicherheitssystem (Eingreifschutz und Sicherheits-SPS von der Kategorie 4) auf.

Beim Betrieb der Presse kann die Pumpe, abhängig von der Anwendung einen max. Niederhalterdruck von 90 bar und einen max. Stempeldruck von 350 bar aufbauen.



**Abbildung 6.** Hydraulikpresse im Lernort.

Die Presse selbst kann in drei Hauptkomponenten aufgeteilt werden: Pressentisch, Seitenständer und Kopfstück [2].

Soll mittels der Hydraulikpresse ein Werkstück umgeformt werden, muss zuerst das zu dem Umformverfahren zugehörige Werkzeug montiert werden. Erst im Anschluss wird das Werkstück (beispielsweise ein Blechteil), das davor je nach Versuch vorbereitet wurde, präzise auf die Arbeitsposition des Werkzeugs gelegt. Nach Einstellung aller entsprechenden Daten, kann der Pressvorgang starten. Es ist jedoch sehr wichtig zu prüfen, dass alle Türen der Presse zur Sicherheit vor dem Pressvorgang abgeschlossen wurden. Der Pressvorgang dauert maximal zwei Sekunden.

Sobald die passenden Daten im Maschinenprogramm eingegeben sind, und der Startknopf betätigt wurde, bewegt sich der Stößel (siehe Abbildung 6), verbunden mit dem oberen Teil des Werkzeugs, nach unten und presst das Werkstück in der Werkzeugform. Danach bewegt sich der Stößel in seine Ausgangsposition, sodass das umgeformte Werkstück aus der Maschine entnommen werden kann.

### 3.3.2 Umformwerkzeuge

Die vorhandenen Umformwerkzeuge kommen abhängig vom Umformverfahren zum Einsatz. Die durchführbaren Umformverfahren an der Hydraulikpresse sind: Tiefziehen, Stauchen und Verdichten. Aufgrund der wirkenden Kräfte bei der Umformtechnik, sind die Werkzeuge aus hochfesten Materialien hergestellt und besitzen deshalb eine große Masse.

Das in Abbildung 7 dargestellte Werkzeug für das Tiefziehen des Werkstücks besteht aus drei Platten und Führungselementen.



**Abbildung 7.** Werkzeug zum Tiefziehen.



**Abbildung 8.** Werkzeug zum Stauchen.

Wie schon in den Abbildungen 7 und 8 zu sehen sind, haben die Fußplatten von den beiden Werkzeugen unterschiedlichen Abmessungen. Die Vorrichtung muss gemäß dieser Abmessung konstruiert werden. Damit nur eine einzige und für jedes Werkzeug geeignete Vorrichtungskonstruktion entwickelt wird, ist es vorteilhaft, die Fußplatte von unterschiedlichen Werkzeugen auf das gleiche Maß zu bringen. Als Lösung hierzu zählt die Konstruktion einer zusätzlichen Fußplatte für kleinere Werkzeuge. Dies ermöglicht sowohl eine entspannende als auch eine einfache Benutzung der Vorrichtung.

## 4 Entwicklungs- und Konstruktionsprozess der Vorrichtung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den gesamten Entwicklungs- und Konstruktionsprozessen der Vorrichtung, gemäß der in Kapitel 2 genannten Konstruktionsmethodik. Die einzelnen Phasen sind nachfolgend kurz erläutert.

Das Vorgehen, das notwendig ist, um eine geeignete Vorrichtungskonstruktion zu bestimmen, ist Gegenstand dieses Kapitels.

### 4.1 Anforderungsliste für die Vorrichtungskonstruktion

Das Lastenheft, auch als Anforderungsspezifikation genannt, ist die Grundlage jeder Konstruktion und der Produktentwicklung. Daraus wird ein Pflichtenheft erstellt, das in konkreterer Form (Tabellenform) aufgestellt wird. Im Pflichtenheft werden alle relevanten technischen Anforderungen, wie Größe, Gewicht usw. zusammengefasst. Das Pflichtenheft soll dynamisch und veränderbar sein. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Anforderungen in Pflichtforderungen (Festforderungen) und Wünsche präzise und lösungsneutral strukturiert werden.

Neben den Inhalten aus dem Pflichtenheft enthält eine Anforderungsliste auch betriebsinterne oder möglichst gesetzliche Vorgaben.

Die in der unteren Tabelle 1 aufgelisteten Anforderungen sind in zwei verschiedene Kategorien unterteilt:

- Die Festforderungen (**F**)
- Die Wünsche (**W**)

Die Festforderungen sind das Fundament und müssen unter allen Betriebsbedingungen eingehalten werden. Wünsche sind nach Möglichkeit zu realisieren, jedoch optional.

**Tabelle 1.** Anforderungsliste für Vorrichtungskonstruktion.

Lernort digitale Umformtechnik		Anforderungsliste für die Vorrichtung
Lfd. N°.	F/W	Anforderungen
<b>Geometrie</b>		
1	F	Maximale Abmessung des Vorrichtungsrahmens abgeleitet von der Werkzeugs-Platte-Abmessung und Arbeitsraum der Presse:  Länge: 700 mm Breite: 300 mm Dicke: 21 mm
2	F	Toleranz bei den bearbeiteten Flächen: Toleranzklasse C.
<b>Gewicht</b>		
3	F	Grenzlast beim Handheben in einer Werkstatt.  Maximal Gewicht: 25 kg.
<b>Kraft</b>		
4	F	Aufzunehmende Belastung durch Stöße des Werkzeugs beim Reinschieben:  Die Stoßkraft ( $F_t$ ) muss kleiner oder gleich als 2 KN.
<b>Werkstoff</b>		
5	W	Stahl.
<b>Fertigung und Montage</b>		
6	W	Einfache Fertigung (möglichst an der HAW).
7	W	Einfache Montage.
8	W	Günstige Anschaffungskosten.
9	W	Möglichst Verwendung der Normteile.
<b>Allgemein</b>		
10	F	Einfache Benutzung.
11	F	Keine Bearbeitung am Werkzeug möglich.
12	F	Keine scharfe Kante.
13	W	Schicke Gestaltung.

Laut Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz, bei der manuellen Handhabung von Last bei der Arbeit, gibt es keinen Grenz- oder Festwert für die Lastenhandhabung am Arbeitsplatz [9]. In der Praxis sind jedoch die sogenannte Normal- und Risikowerte zu berücksichtigen. Diese sind von der Lastwichtung, der Haltungswichtung, der Ausführungsbedingungswichtung und der Dauerhandhabung abhängig. Aus allen diesen Bedingungen wurde der Normallastwert von 25 kg festgelegt.

### 4.2 Funktionsanalyse und Funktionsstruktur

In diesem Abschnitt werden die Lösungsprinzipien von ermittelten Funktionen und deren Strukturen gesucht. Auf Grundlage der dargestellten Anforderungsliste wird die Gesamtfunktion und möglichst notwendige Teilfunktionen für das zu entwickelnde Produkt bestimmt. Durch Kombination und Zusammenfassung der ermittelten Funktionen und Strukturen, werden die Funktionsstrukturen erstellt [16, S.10].

Die Funktionsanalyse beschäftigt sich mit der Beschreibung der gesamten Funktion des zu entwickelnden Produktes.

Um die Funktionen als eine Systemgrenze in einer Black-Box darzustellen, wird zunächst die Aufgabenstellung abstrakt betrachtet.



**Abbildung 9.** Allgemeine Black-Box Darstellung.

Wie in Abbildung 9 schematisch gezeichnet, ist das gesamte System als Black-Box dargestellt. In das System (siehe Abbildung 10) geht die mechanische Energie in Form einer wirkenden Kraft (Stoßkraft) ein. Als Output des Systems ist wiederum eine mechanische Energie in Form einer Reaktionskraft. Die Störgrößen werden in diesem Fall vernachlässigt, da sie geringe Einflüsse auf das System aufweisen. Für die zu entwickelnde Vorrichtung besteht die Hauptfunktion darin, die aufgebrachte Stoßkraft als potenzielle Energie zu speichern, um dabei das eingebaute Werkzeug auf der richtigen Arbeitsposition zu stoppen.



**Abbildung 10.** Black-Box Darstellung der Vorrichtungskonstruktion.

Nachdem die Hauptfunktion als Black-Box dargestellt ist und dazu die Ein- und Ausgänge bestimmt sind, muss die Hauptfunktion in Teilfunktionen wie folgt unterteilt werden.

- Anschlagselement
- Ausrichtungselement
- Befestigung
- Arretierung

### 4.3 Morphologischer Kasten

Um die verschiedenen konstruktiven Lösungsvarianten zu betrachten, ist im morphologischen Kasten (Tabelle 2) die sinnvolle Kombination von Teillösungen dargestellt. Der nachfolgende morphologische Kasten führt die unter dem Abschnitt 4.2 ermittelten Funktionen auf. Links auf den beiden ersten Spalten sind Teilfunktionen aufgeführt und rechts die vorgeschlagenen Teillösungen.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Analyse und Aufteilung des gesamten Problems in Teilprobleme. Außerdem trägt das Verfahren zu einer systematischen Durchführung bei, sodass Missverständnisse vermieden werden.

**Tabelle 2.** Morphologischer Kasten für Vorrichtungskonstruktion.

Morphologischer Kasten		Teillösungen			
Funktionen		TL1	TL2	TL3	TL4
Vorrichtungskonstruktion	Material	Stahl	Edelstahl	Alu	Kunststoff
	Geometrie	Zylinder	Rechteckig	Kreisform	Halbzylinder
Befestigung der Vorrichtungskonstruktion auf dem Pressmaschinentisch		geschraubt	geschweißt	aufgelagert	geklebt
Ausführung Ausrichtungselemente	Form	punktförmig	flach	rund	-
	Material	Stahl	Kunststoff	Alu	Edelstahl
	Anzahl	1	2	3	4
Ausführung Anschlagselemente	Form	rund	punktförmig	flach	-
	Material	Edelstahl	Stahl	Alu	Kunststoff
	Anzahl	4	3	2	1
Arretierungssystem	Form	oval	rund	eckig	winklig
	Anzahl	1	2	3	4

In nachfolgender Tabelle 3 sind durch farbliche Markierungen die Teillösungen miteinander verknüpft, um die Lösungsvarianten zu erzeugen. Für die Vorrichtungskonstruktion werden drei unterschiedliche Konzepte ausgewählt und weiterverfolgt.

Die Lösungsvarianten werden detaillierter beschrieben und für die Bewertung vorbereitet.

**Tabelle 3.** Morphologischer Kasten für Vorrichtungskonstruktion mit Lösungsvarianten.

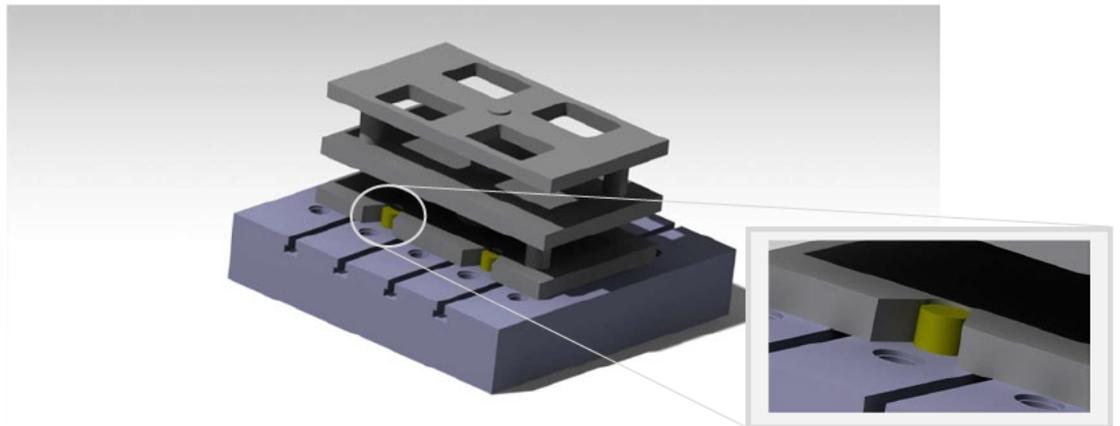
Morphologischer Kasten		Teillösungen			
Funktionen		TL1	TL2	TL3	TL4
Vorrichtungskonstruktion	Material	Stahl	Edelstahl	Alu	Kunststoff
	Geometrie	Zylinder	Rechteckig	Kreisform	Halbzylinder
Befestigung der Vorrichtungskonstruktion auf dem Pressmaschinentisch		geschraubt	geschweißt	aufgelagert	geklebt
Ausführung Ausrichtungselemente	Form	punktförmig	flach	rund	-
	Material	Stahl	Kunststoff	Alu	Edelstahl
	Anzahl	1	2	3	4
Ausführung Anschlagselemente	Form	rund	punktförmig	flach	-
	Material	Edelstahl	Stahl	Alu	Kunststoff
	Anzahl	4	3	2	1
Arretierungssystem	Form	oval	rund	eckig	winklig
	Anzahl	1	2	3	4
Lösungsvarianten		LV1	LV2	LV3	-

#### 4.4 Beschreibung der Lösungsvarianten

- **Lösungsvariante 1:**

Das Konzept 1 besteht aus zwei hergestellten Zylindern, die in zwei bereits vorhandene Bohrungen am Pressmaschinentisch eingesteckt und verklebt werden. Bei diesem Konzept muss das Werkzeug, wie in Abbildung 11 dargestellt ist, an der Fußplatte bearbeitet werden. Das Werkzeug wird beim Einschieben durch die Zylinderkante ausgerichtet bzw. gestützt.

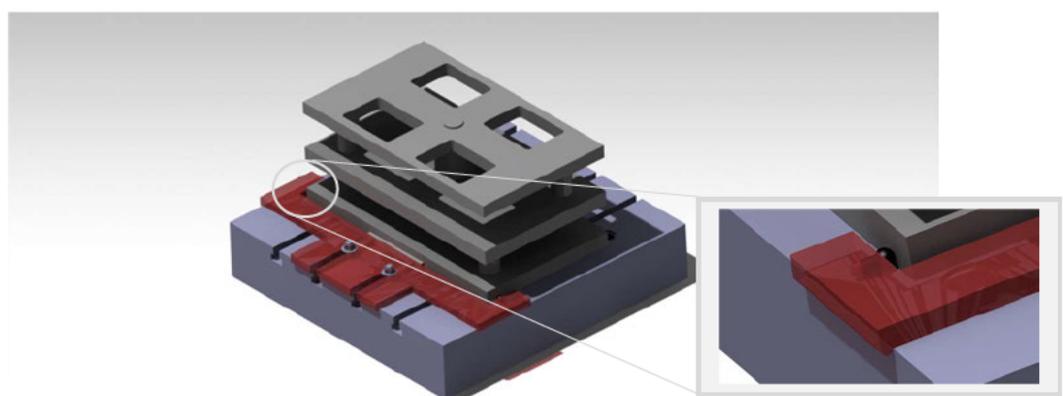
Ist das Werkzeug schon entgegen der Zylinderkante abgestützt, ist dieses auf der richtigen Arbeitsstelle positioniert.



**Abbildung 11.** Lösungsvariante 1 für Vorrichtungskonstruktion.

- **Lösungsvariante 2:**

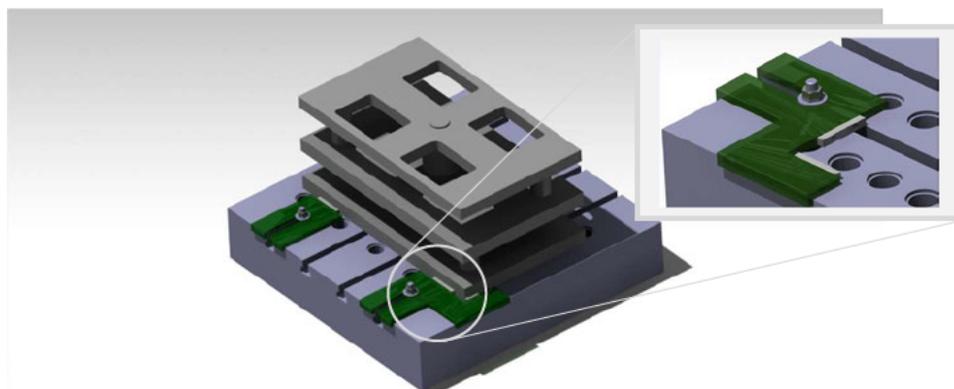
Das zweite Konzept, wie in Abbildung 12 exemplarisch dargestellt, besteht aus einer rechteckigen Platte, die von hinten auf den Pressmaschinentisch gelegt und mit einem Absatz an den Kanten arretiert wird. Auf den inneren Seitenwänden dieser Platte eingeschraubt, sind zwei kugelförmige Elemente zur Ausrichtung des Werkzeugs vorzusehen. Das Werkzeug wird beim Einschieben durch ein Kunststoffstück horizontal abgestützt, das im Vorfeld bereits vorne an der Platte montiert wurde. Die Platte muss mittels zwei Schrauben auf dem Pressmaschinentisch befestigt werden.



**Abbildung 12.** Lösungsvariante 2 für Vorrichtungskonstruktion.

- **Lösungsvariante 3:**

Das in Abbildung 13 dargestellte Konzept 3 besteht aus zwei Teilen. Die beiden Teilelemente sind separat auf dem Pressmaschinentisch zu montieren und erfüllen voneinander unabhängige Aufgaben. Das Werkzeug muss in diesem Fall, nur von einer Seite ausgerichtet werden. Beim Einschieben wird das Werkzeug ähnlich wie im Konzept 2 abgestützt. Jedoch ist der Anschlag von den beiden Elementen in diesem Konzept horizontal durch Kunststoffstücke erforderlich. Die zu entwickelnden Bauelemente müssen zur Befestigung auf dem Pressmaschinentisch verschraubt werden. Zum Vermeiden einer ebenen Drehung ist ein Absatz an den Kanten der Vorrichtung vorgesehen.



**Abbildung 13.** Lösungsvariante 3 für Vorrichtungskonstruktion.

### 4.5 Lösungsbewertung

Nach Vorstellung der Lösungsvarianten kann eine Bewertung durchgeführt werden. In der Konzipierungs- und Entwurfsphase hat eine Lösungsbewertung, wie die bis jetzt ausgearbeitete Abschnitte, eine relevante Funktion. In diesem Abschnitt werden die Lösungskonzepte bewertet und miteinander verglichen. Anschließend wird das geeignetste Konzept ausgewählt und weiter ausgeführt.

Um die Bewertung der Lösungsvarianten zu ermitteln, werden Bewertungskriterien benötigt. Die Bewertungskriterien leiten sich aus der in Abschnitt 4.1 aufgeführten Anforderungsliste ab. Dazu werden die Anforderungen neu formuliert. Die Zusammensetzung dieser ist in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4.** Ableitung der Bewertungskriterium.

Anforderung in Anforderungsliste		Bewertungskriterium
Maximale Abmessung entsprechend der Vorrichtung	→	Passende Geometrie
Grenzlast beim manuellen Heben	→	Zulässiges Gewicht
Möglichst an der HAW fertigen	→	Einfache Fertigung
Günstige Anschaffungskosten	→	Geringe Kosten
Einfache Benutzung	→	Einfache Benutzung
Keine Bearbeitung am Werkzeug möglich	→	Keine Werkzeugs-Bearbeitung
Aufzunehmende Belastung durch Stöße	→	Niedrigere Belastbarkeit
Verwendung von Norm- und Kaufteilen	→	Einfache Montage
Keine scharfe Kante	→	Geringere Kerbwirkung

Als nächsten Schritt werden die Bewertungskriterien nach dem Rangfolgegewichtungsverfahren [17, S.3] gewichtet.

In der Gewichtungsmatrix (vgl. Tabelle 5) sind Bewertungskriterien sowohl in die erste Spalte als auch erste Zeile eingetragen und werden paarweise miteinander nach ihrer Wichtigkeit verglichen und bewertet. Die aufgeführten Bewertungskriterien werden jeweils hinsichtlich der Wertigkeit zu dem senkrecht aufgeführten Kriterium bewertet. Ist es zum Beispiel höherwertig, so erhält das waagrecht aufgeführte Kriterium ein „+“. Ist es nicht relevant, so erhält es ein „-“.

Die Summe der horizontalen „+“ eines einzelnen Kriteriums wird dann durch die Summe aller „+“ geteilt und so erhält man für jedes Bewertungskriterium einen Gewichtungsfaktor ( $g_i$ ).

Die Gleichung dazu lautet:

$$g_i = \frac{\sum \text{horizontale "+"}}{\sum \text{"+"}} \quad (4-1)$$

**Tabelle 5.** Gewichtungsmatrix für Vorrichtungskonstruktion.

Bewertungskriterien		Passende Geometrie	Zulässiges Gewicht	Einfache Fertigung	Geringe Kosten	Einfache Benutzung	Keine Werkzeugs-Bearbeitung	Niedrigere Belastbarkeit	Einfache Montage	Geringere Kerbwirkung	Summe der „+“	Gewichtungsfaktor „g <sub>i</sub> “
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Passende Geometrie	+	+	+	+	-	+	+	+	+	7	0,19
2	Zulässiges Gewicht	-	+	+	-	-	+	+	+	+	5	0,14
3	Einfache Fertigung	-	-	+	-	-	-	+	+	+	2	0,06
4	Geringe Kosten	-	-	+	+	-	+	-	-	-	2	0,05
5	Einfache Benutzung	-	+	+	+	+	-	+	+	-	5	0,14
6	Keine Werkzeugs-Bearbeitung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	8	0,22
7	Niedrigere Belastbarkeit	-	-	+	-	-	-	+	-	-	2	0,06
8	Einfache Montage	-	-	-	+	-	-	-	+	+	2	0,06
9	Geringere Kerbwirkung	-	-	-	+	+	-	+	-	+	3	0,08
<b>Summen</b>											36	1

Nach Ermittlung der Gewichtungsfaktoren gemäß des Rangfolgegewichtungsverfahrens, müssen die Lösungsverfahren bewertet werden. In der nachfolgenden Tabelle 6 werden die bereits vorgestellte Lösungsvarianten im Wertigkeitsverfahren spaltenweise eingetragen. Dabei sind links, in den ersten Spalten, die Bewertungskriterien und deren Gewichtungsfaktor aufgeschrieben. Um die Lösungsvarianten zu bewerten, ist neben dem Bewertungsfaktor die Punktbewertung notwendig.

Die Bewertungsskala liegt zwischen 0 und 4. Dabei ergibt sich die nachfolgend aufgeführte Bedeutung [4, S.19] für die Punktbewertung ( $p_i$ ):

- Punktzahl 4 = sehr gut (ideal)
- Punktzahl 3 = gut
- Punktzahl 2 = ausreichend
- Punktzahl 1 = gerade noch tragbar
- Punktzahl 0 = unbefriedigend

Die Punkte werden, je nach Erfüllungsgrad jedes Kriteriums, zu den drei Lösungsvarianten zugeordnet und danach mit dem dazugehörigen Bewertungsfaktor multipliziert. Anschließend werden die Punktzahlen jeder Lösungsvariante addiert. Je größer die Summe der Punktzahlen ist, umso geeigneter ist eine Lösungsvariante.

Zusätzlich ist als Bezugs-konzept eine Spalte für ein Ideal-Konzept angebracht, das alle Kriterien optimal erfüllen würde. Die Wertigkeit der einzelnen Lösungsvarianten ( $w_i$ ) soll sich auf das ideale Konzept beziehen und wird nach der Gleichung (4-2) berechnet.

Wertigkeit einer Lösung:

$$w_i = \frac{\sum p_i \cdot g_i}{\sum p_{ideal} \cdot g_i} \quad (4-2)$$

Mit  $p_{ideal} = 4 \text{ Punkte}$

**Tabelle 6.** Wertigkeitsverfahren der Lösungsvarianten für Vorrichtungskonstruktion.

	Gewichtung	Lösungsvariante 1		Lösungsvariante 2		Lösungsvariante 3		Ideale Lösung	
		$p_i$	$p_i \cdot g_i$	$p_i$	$p_i \cdot g_i$	$p_i$	$p_i \cdot g_i$	$p_{ideal}$	$p_{id} \cdot g_i$
<b>Kriterien</b>	$g_i$	$p_i$	$p_i \cdot g_i$	$p_i$	$p_i \cdot g_i$	$p_i$	$p_i \cdot g_i$	$p_{ideal}$	$p_{id} \cdot g_i$
Passende Geometrie	0,19	3	0,57	4	0,76	4	0,76	4	0,76
Zulässiges Gewicht	0,14	4	0,56	3	0,42	4	0,56	4	0,56
Einfache Fertigung	0,06	3	0,18	2	0,12	2	0,12	4	0,24
Geringe Kosten	0,05	3	0,15	2	0,10	2	0,10	4	0,20
Einfache Benutzung	0,14	3	0,42	2	0,28	3	0,42	4	0,56
Keine Werkzeugs-Bearbeitung	0,22	1	0,22	4	0,88	4	0,88	4	0,88
Niedrigere Belastbarkeit	0,06	3	0,18	3	0,18	3	0,18	4	0,24
Einfache Montage	0,06	3	0,18	2	0,12	3	0,18	4	0,24
Geringere Kerbwirkung	0,08	3	0,24	2	0,16	3	0,24	4	0,32
<b>Summe der Punktzahlen</b>		<b>2,7</b>		<b>3,02</b>		<b>3,44</b>		<b>4</b>	
<b>Rangfolge</b>		<b>3</b>		<b>2</b>		<b>1</b>		<b>/</b>	
<b>Wertigkeit der Lösungen</b>		<b>0,675</b>		<b>0,755</b>		<b>0,86</b>		<b>1</b>	

- Die erste Lösungsvariante erfüllt die Kriterien mit **67,5%**
- Die zweite Lösungsvariante erfüllt die Kriterien mit **75,5%**
- Die dritte Lösungsvariante erfüllt die Kriterien mit **86%**

Wie in der Tabelle 6 zu sehen ist, stellt sich die Lösungsvariante 3 als geeignetster Lösungsansatz heraus und wird aus diesem Grund weiterverfolgt. Eine ebenfalls interessante Alternative ist die Lösungsvariante 2. Die Lösungsvariante 1 gilt als am ungeeignetsten.

### 4.6 Entwurf des ausgewählten Konzeptes für die Vorrichtung

Nach VDI 2221 muss der Entwurf des ausgewählten Konzeptes entwickelt werden. Dieser dient der Grobgestaltung des Konzeptes, durch die Gliederung der zuvor festgelegten Lösung. Die in der Konzeptphase erarbeitete Lösungsvariante wird zunächst so gegliedert, dass sich alle zugehörigen Bauelemente und deren Schnittstellen erkennen lassen.

Für die sogenannte Lösungsvariante ergibt sich folgender geplanter Ablauf:

- Ermittlung der maßgebenden und aufnehmenden Belastungen für die Vorrichtung.
- Auslegung der Verbindungsmittel.
- Auswahl eines Kunststoffstückes.
- Modellierung der Endgestaltung der Vorrichtung und zusätzliche Bauelemente.

#### 4.6.1 Ermittlung der maßgebenden Belastungen

Nachfolgend werden die maßgebenden Belastungen für die Vorrichtung ermittelt. Beim Einschieben des Werkzeugs in den Arbeitsraum der Presse, wird die Vorrichtung durch die Stoßkraft stets belastet. Diese Stoßkraft kann als Querkraft betrachtet werden, die über Kunststoff- und Stahlstücke bis zu den Schrauben wirkt. Für die Vorrichtung sowie die Schrauben werden die Querbeanspruchungen ermittelt.

Bei der Berechnung der Querbeanspruchungen müssen einige Annahmen getroffen werden. Zur Auslegung wird konservativ gerechnet und aus diesem Grund die Masse mit  $m = 200 \text{ kg}$  angenommen. Außerdem ist als Bewegungsgeschwindigkeit des Werkzeugs eine konstante Geschwindigkeit  $v_{max} = 0,3 \text{ m/s}$  vorgesehen. Die Formel, die für Berechnung der Querbeanspruchung an der Vorrichtung verwendet wird, ist der Impulssatz [3, S.86] (vgl. Gleichung 4-3).

$$P = m \cdot v \quad (4-3)$$

$$\frac{dP}{dt} = F_t \quad (4-4)$$

$$P_1 - P_0 = F_t \cdot dt \quad (4-5)$$

$$m \cdot v_1 - m \cdot v_0 = F_t \cdot dt \quad (4-6)$$

Nach dem Stoß wird das Werkzeug in einen Stillstand gebracht. Dies bedeutet, dass die Geschwindigkeit nach dem Stoß gleich null ist.  $v_1 = 0 \text{ m/s}$

$$-m \cdot v_0 = F_t \cdot dt \quad (4-7)$$

$$F_t = -\frac{m \cdot v_0}{dt} \quad (4-8)$$

Mit  $v_0 = 0,3 \text{ m/s}$  und  $m = 200 \text{ kg}$

Um die gesamte Querbeanspruchung maximal zu betrachten, wird das Zeitintervall bzw. die Stoßdauer minimiert. Ein passender Wert soll dafür bei dieser Berechnung angenommen werden. Aus diesem Grund wird  $dt = 0,03 \text{ s}$ .

$$F_t = -\frac{m \cdot v_0}{dt} = -\frac{0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 200 \text{ kg}}{0,03 \text{ s}} = -2000 \text{ N} \quad (4-9)$$

Weiter geht's mit  $F_t = 2 \text{ KN}$  (im Absolutbetrag).

#### 4.6.2 Auslegung der Verbindungsmittel

Zwei Schrauben dienen als lösbare Verbindungselemente zwischen der Vorrichtung und dem Maschinentisch. In Abbildung 14 wird die befestigte Schraubenverbindung beispielhaft am Maschinentisch gezeigt.

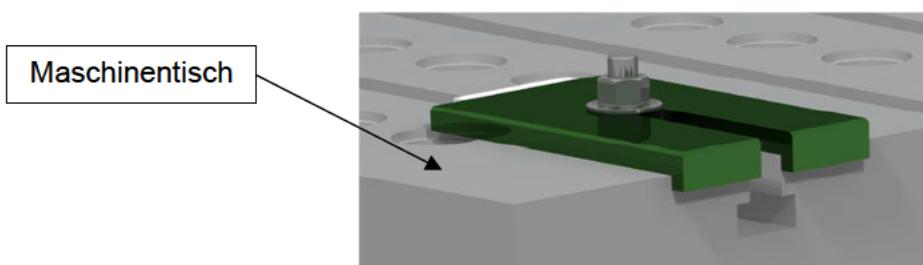


Abbildung 14. Ausblick für das Verbindungselement.

Damit sich im Betrieb bei maximaler Stoßkraft des Werkzeugs an der Vorrichtung bzw. an den Schrauben kein Versagen eintritt, müssen die Schrauben entsprechend dimensioniert werden bzw. anhand der wirkenden Kraft eine Schraube ausgewählt werden, die den Belastungen standhält. Es handelt sich in dem Fall um eine Auslegung von Befestigungsschrauben bei Querkraftbelastung. Grundlage für die folgenden Betrachtungen und Berechnungen ist die VDI-Richtlinie 2230 [4, S.250]. Es werden hier Verbindungen mit Stahlschrauben bei relativ starren, gegeneinander liegenden Bauteilen bei Raumtemperatur untersucht, die auch in der Praxis zu finden sind.

Beim Einschieben des Werkzeugs, werden die beiden oben genannten Schrauben durch die bereits ermittelte Querbeanspruchung belastet. Die, von jeder Schraube zu übertragende Querkraftbelastung, kann anhand Gleichung (4-10) ermittelt werden.

$$F_Q = \frac{F_t}{n} \quad (4-10)$$

$$F_Q = \frac{2000 \text{ N}}{2} = 1000 \text{ N} \quad (4-11)$$

Bei zu kleiner Schraubenvorspannkraft (verursacht durch das Setzen der Schraube) oder durch unerwartete Spitzenbelastung, kann es dann zu örtlichem Gleiten in der Trennfuge kommen. Das dabei auftretende innere Losdrehmoment der Schrauben, muss durch geeignete Sicherungsmaßnahmen aufgenommen werden [4, S.288]. Die erforderliche Normalkraft (Klemmkraft) je Schraube und Reibfläche ergibt sich aus der Relation (4-12).

$$F_{kl} = \frac{F_t}{n \cdot \mu_T} \quad \text{bzw.} \quad \frac{F_Q}{\mu_T} \quad (4-12)$$

Es wird mit  $\mu_T = 0,15$  (Abbildung 15) als Haftreibungszahl für Stahl auf Stahl (gereinigt) bei trockenen und glatten Fugenflächen gerechnet.

Darauf eingesetzt, ergibt sich die Gleichung (4-13).

$$F_{kl} = \frac{1000 \text{ N}}{0,15} \cong 6667 \text{ N} \quad (4-13)$$

Stoffpaarung		Stahl-Stahl/GS	Stahl-Stahl <sup>1)</sup>	Stahl-Stahl <sup>2)</sup>	Stahl-GJL	Stahl-GJL <sup>1)</sup>	Stahl-GJS
Haftreibungszahl $\mu_r$	trocken	0,1 ... 0,3	0,15 ... 0,40	0,04 ... 0,15	0,11 ... 0,24	0,26 ... 0,31	0,1 ... 0,23
	geschmiert	0,07 ... 0,12			0,06 ... 0,1		
Stoffpaarung		Stahl-GJS <sup>1)</sup>	GJL-GJL	GJL-GJL <sup>3)</sup>	GJS-GJS	GJS-GJS <sup>3)</sup>	GJL-GJS
Haftreibungszahl $\mu_r$	trocken	0,2 ... 0,26	0,15 ... 0,3	0,09 ... 0,36	0,25 ... 0,52	0,08 ... 0,25	0,13 ... 0,26
	geschmiert		0,06 ... 0,2		0,08 ... 0,12		
Stoffpaarung		Stahl-Bronze	GJL-Bronze	Stahl-Cu-Leg.	Stahl-Al-Leg.	Alu-Alu	Alu-Alu <sup>3)</sup>
Haftreibungszahl $\mu_r$	trocken	0,12 ... 0,28	0,28	0,07 ... 0,25	0,07 ... 0,28	0,19 ... 0,41	0,1 ... 0,32
	geschmiert	0,18	0,15 ... 0,2		0,05 ... 0,18	0,07 ... 0,12	

Abbildung 15. Tabelle für Haftreibungszahl [5, S.110b].

Die erforderliche Schraubengröße lässt sich mit der Überschlagsgleichung GL. (4-14) bestimmen [3, S.288].

$$A_s \geq \frac{F_B + F_{Kl}}{\frac{R_{p0,2}}{k \cdot k_A} - (\beta \cdot E \cdot \frac{f_z}{l_K})} \quad (4-14)$$

Für die Festigkeitsklasse 8.8 entspricht die 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2} = 640 \text{ N/mm}^2$ . Da die Schrauben von Hand ohne Messung des Anziehmomentes angezogen werden, wird für den Anziehungsfaktor  $k_A = 3$  [5, S.109] bestimmt. Der Reduktionsfaktor beträgt  $k = 1,24$  für eine Gesamtreibungszahl von  $\mu_G = 0,14$ . Dies entspricht einer leicht geölten Verbindung, laut VDI. Bei einer Schraubenverbindung mit einer mittleren Rautiefe der Oberfläche  $R_z < 10 \mu\text{m}$ , mit Kopf- und Mutterauflage durch die Trennfuge ergibt sich der Setzbetrag  $f_z = 0,011 \text{ mm}$ . Für Schaftschrauben entspricht der Nachgiebigkeitsfaktor  $\beta \approx 1,1$ . Mit der aus der Zeichnung ermittelten Klemmlänge  $l_K = 35 \text{ mm}$  und dem E-Modul einer aus Stahl hergestellten Schraube  $E(\text{Stahl}) = 210000 \text{ N/mm}^2$  [6] sowie einer Betriebskraft  $F_B = 0 \text{ N}$ , ergibt sich der mindestens erforderliche Spannungsquerschnitt, der mittels Gleichung (4-15) berechnet wird.

$$A_s \geq \frac{6667 \text{ N}}{\frac{640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,243} - (1,1 \cdot 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{0,011 \text{ mm}}{35 \text{ mm}})} = 67 \text{ mm}^2 \quad (4-15)$$

Nach Tabelle (Abbildung 16) wird eine Schraube M12 - 88 (Reihe 1) mit  $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$  gewählt.

Eine Nachprüfung der Flächenpressung, unter dem Schraubenkopf, erübrigt sich bei 8.8 – Schrauben auf vergüteten Bauteilen. Zudem werden Unterlegscheiben verwendet.

Gewinde-Nenn-durchmesser $d = D$		Steigung $P$	Flanken-durchmesser $d_2 = D_2$	Kern-durchmesser		Gewindetiefe		Spannungs-quer-schnitt <sup>1)</sup> $A_s$ mm <sup>2</sup>	Kern-quer-schnitt <sup>1)</sup> $A_3$ mm <sup>2</sup>	Steigungs-winkel <sup>1)</sup> $\varphi$ Grad
Reihe 1	Reihe 2			$d_3$	$D_1$	$h_3$	$H_1$			
1		0,25	0,838	0,693	0,729	0,153	0,135	0,460	0,377	5,43
1,2		0,25	1,038	0,893	0,929	0,153	0,135	0,732	0,626	4,38
1,6		0,35	1,373	1,170	1,221	0,215	0,189	1,127	1,075	4,64
2		0,4	1,740	1,509	1,567	0,245	0,217	2,07	1,788	4,19
2,5		0,45	2,208	1,948	2,013	0,276	0,244	3,39	2,980	3,71
3		0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	5,03	4,475	3,41
	3,5	0,6	3,110	2,765	2,850	0,368	0,325	6,78	6,000	3,51
		0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	8,78	7,749	3,60
4	4,5	0,75	4,013	3,580	3,688	0,460	0,406	11,3	10,07	3,41
5		0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	14,2	12,69	3,25
6		1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	20,1	17,89	3,41
8		1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	36,6	32,84	3,17
	(9)	1,25	8,188	7,466	7,647	0,767	0,677	48,1	43,78	2,78
		1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	58,0	52,30	3,03
10	(11)	1,5	10,026	9,160	9,376	0,920	0,812	72,3	65,90	2,73
12		1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	84,3	76,25	2,94
	14	2	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083	115	104,7	2,87
16		2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	157	144,1	2,48
	18	2,5	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353	193	175,1	2,78
20		2,5	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353	245	225,2	2,48

Abbildung 16. Tabelle für Schraubenauswahl [5, S.98].

Abschließend betrachtet sind als Verbindungselement zwischen der Vorrichtung und dem Maschinentisch zwei Schrauben **ISO 4014 - M12 - 8.8 x 65** völlig ausreichend.

#### 4.6.3 Auswahl eines Kunststoffstückes

In diesem Abschnitt wird die Auswahl des benötigten Kunststoffstückes, das als Anschlagselement genannt wurde. Das Kunststoffstück ist als Stoßdämpferelement zu betrachten. Es dient dafür, dass der Kontakt zwischen Stahl und Stahl immer beim Einschieben des Werkzeugs vermieden wird. Ein weiterer Grund zur Benutzung des Anschlagselementes ist die Wiederverwendung der gesamten Vorrichtung. Bei einer hohen Nutzung verschleißten die Kunststoffelemente. Sie sind jedoch ersetzbar und leichter auszutauschen.

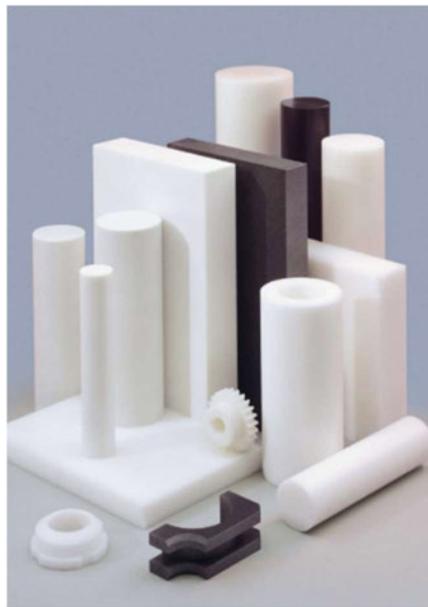
Die Anforderungen an das Kunststoffmaterial sind nachfolgend aufgelistet.

- Gute mechanische Festigkeit
- Hohe Schlagzähigkeit
- Gutes Dämpfungsvermögen

- Gutes Gleitvermögen
- Möglichst verschleißfest

Diese Eigenschaften führen die Entscheidung auf den technischen Kunststoff (Polyamid), der beispielhaft im technischen Datenblatt von Kern [10] zu finden ist. Dieses Produkt erfüllt bereits alle oben genannten Kriterien erfolgreich. Beim Kunststoff muss ebenfalls beachtet werden, dass dieser nach Auswahl und Beschaffung gemäß der in der Zeichnung (auf CAD-Datei) abgeleiteten Abmessungen bearbeitet werden muss.

Ein Beispiel, wie Polyamid in verschiedenster Form bearbeitet werden kann, ist in nachfolgender Abbildung zu sehen. Eine Modellierung des Kunststoffstückes ist im Anhang dieser Arbeit hinzugefügt.

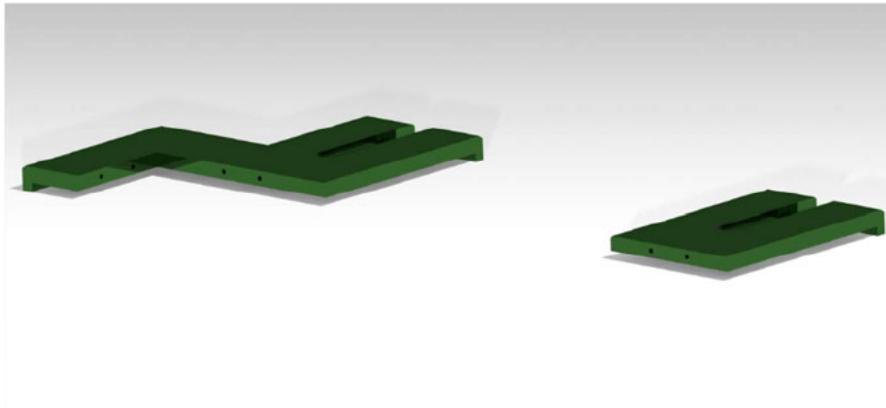


**Abbildung 17.** Ein Beispiel für Polyamid-Kunststoff [10].

#### **4.6.4 Modellierung der Vorrichtung mit Maschinenumgebung**

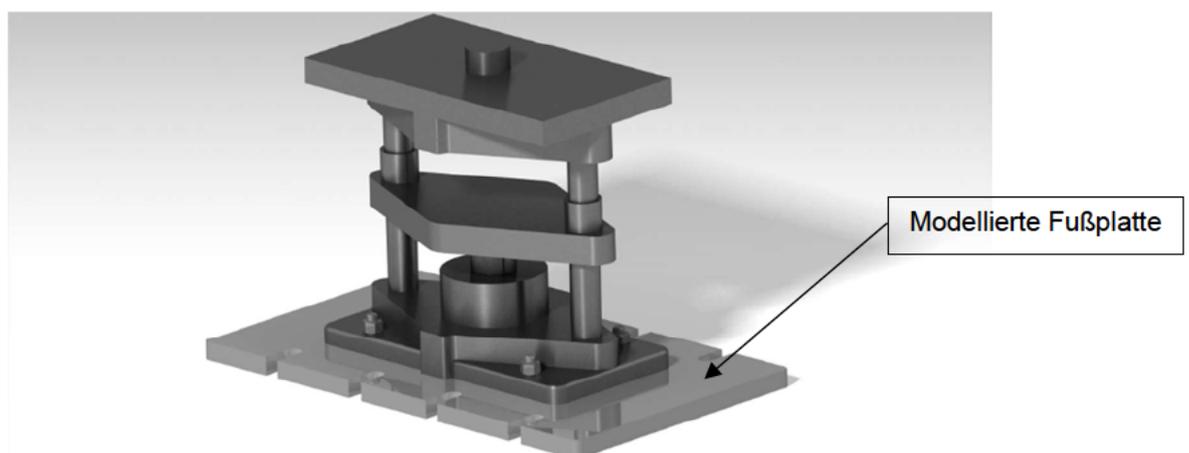
Die gesamte Zeichnung wird mit CATIA v5 erstellt. Es werden zunächst die Einzelbauteile modelliert, diese anschließend zu einer Baugruppe zusammengebaut werden. Die vollständige Zeichnung der Vorrichtung befindet sich im Anhang. Die gesamte Vorrichtungskonstruktion besteht aus zwei Teilen. Siehe hierzu nachfolgende Abbildung 18.

Wie in Kapitel 3 beschrieben, muss bei der konstruktiven Umsetzung die Ergonomie beachtet werden. Dies wird mit Hilfe eines hinreichenden optimalen Gewichts für eine Person mit Standardmaßen geschaffen. Dadurch wird gewährleistet, dass sich die Vorrichtungsteile während der Anwendung aufgrund der Größe und Masse heben lassen. Ein anderer Aspekt der Ergonomie, der noch berücksichtigt wird, ist die Vermeidung von scharfen Kanten.



**Abbildung 18.** Darstellung von der Vorrichtungskonstruktion.

Da die vorhandenen Werkzeuge unterschiedliche Maße an ihrer Fußplatte aufweisen und nur eine Vorrichtung für diese unterschiedlichen Werkzeuge je nach Verfahren angewandt wird, wird zusätzlich für einige Werkzeuge eine Platte modelliert, damit alle Werkzeuge auf die gleichen Abmessungen an der Fußplatte passen. Die zugehörige Zeichnung gehört ebenfalls zu den anderen CAD-Modellen, die sich im Anhang dieser Arbeit befinden. In Abbildung 19 ist diese modellierte Platte exemplarisch in einer Einbausituation dargestellt.



**Abbildung 19.** Modell für die zusätzliche Platte in einer Einbausituation.

## 5 Auswahl der Ein- und Auszugshilfen

Ziel in diesem Kapitel ist es, eine Systemlösung für den Ein- und Auszug der unterschiedlichen Werkzeuge beim Werkzeugwechsel zu untersuchen und die zugehörigen Elemente auszulegen. Vorab müssen die Hauptaufgaben, sowie die Anforderungen an das System unter Berücksichtigung der Randbedingungen definiert werden.

### 5.1 Ideenfindung

Prinzipiell muss das noch auszulegende System in der Lage sein, die Werkzeuge in die Maschine einzufahren und nach dem Einsatz aus der Maschine zu holen. Diese Funktion beschreibt die Hauptaufgabe des Systems, die als feste Forderung innerhalb dieses Kapitels betrachtet wird.

Die Hydraulikpresse ist, wie schon im Kapitel 3 beschrieben, hinten mit einer Tür ausgestattet, die zur Betriebssicherheit abgeschlossen bleiben muss. Vorne ist eine sogenannte Lichtschranke (Abbildung 20) für den Eingreifschutz vorgesehen. Dieses bedeutet, dass kein zusätzliches Element während des Betriebs im Maschinenarbeitsraum stehen darf. Zudem dürfen auch keine Bearbeitungen an der Hydraulikpresse erfolgen, um eventuell neue Elemente zu bauen. Aus diesen Gründen muss das Konzept so ausgelegt werden, dass es sich nach dem Einsatz lösen lässt und keine weiteren Arbeitsabläufe an der Hydraulikpresse stört.

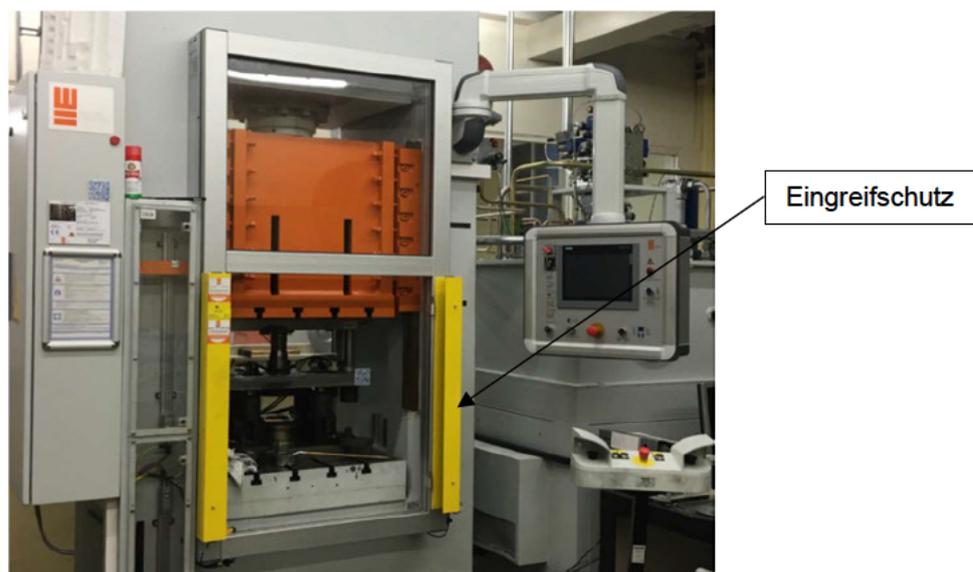


Abbildung 20. Ausblick auf der Vorderseite der Presse.

Nach Ermittlung der Hauptanforderung und den Randbedingungen kann festgestellt werden, dass das noch auszuwählende Konzept zum Teil auf Drahtseilen aufgebaut werden muss. Vergleichend könnte auch eine Aufbaualternative verwendet werden, die aus Zahnrad und Zahnstange besteht. Aus Betriebssicht muss das Zahnrad oder die Zahnstange an der Hydraulikpresse angebracht werden. Dies wäre ein zusätzlicher Anbau, der nur mit hoher Komplexität realisierbar ist. Aus diesem Grund wird diese Lösungsalternative ausgeschlossen.

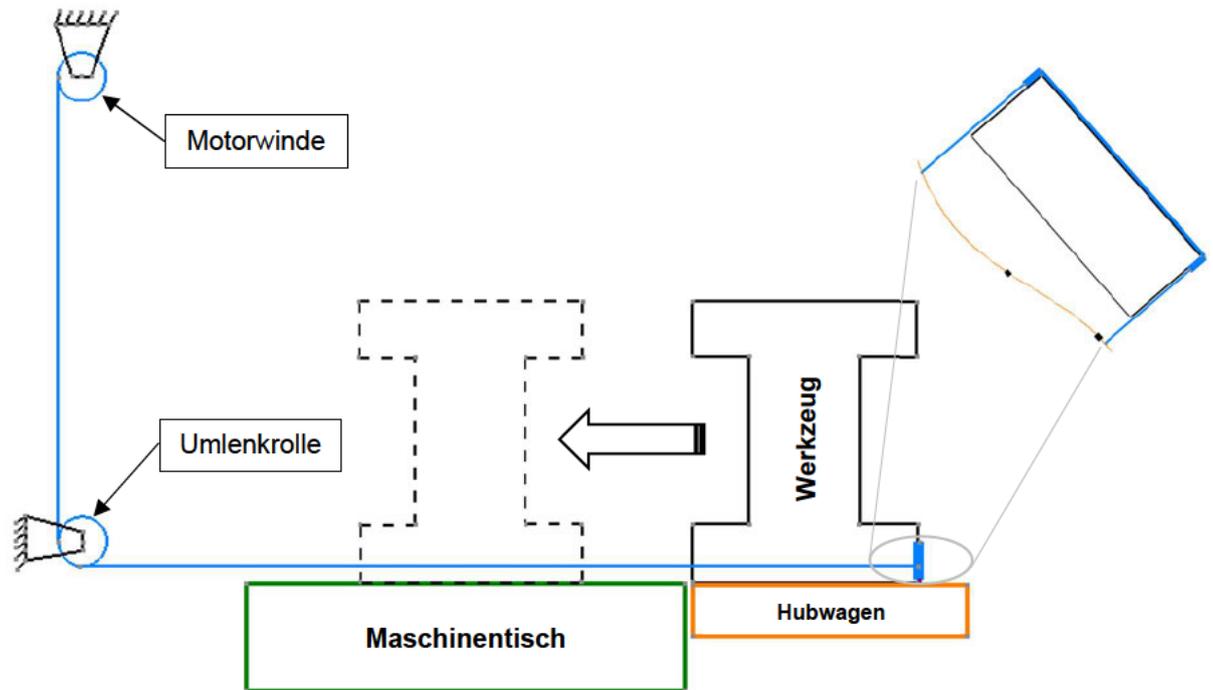
## 5.2 Beschreibung der Verschiedenen Systemlösungen

In diesem Abschnitt werden zwei verschiedene technische Lösungen vorgestellt, sowie eine Vergleichsmethode zur Bewertung der Lösungsansätze. Die Lösungsansätze werden in zwei unterschiedlichen Situationen dargestellt, die die Einzugs- und Auszugssituationen der Werkzeuge entsprechen.

- **Lösungsansatz 1:**

Der Lösungsansatz 1 besteht aus einer Motorwinde, zwei Drahtseilen, einem Spanngurt und vier Umlenkrollen (zwei große und zwei kleine). Die Motorwinde wird an der Decke befestigt, um zu gewährleisten, dass die Drahtseile nach den Einsätzen ohne hohen Arbeitsaufwand weggeräumt werden können. Zwei Umlenkrollen werden hinter der Hydraulikpresse mittels Dübel und Schrauben, an der Wand fixiert. Die anderen beiden Umlenkrollen werden auf dem Hubwagen verschraubt. Die Drahtseile werden mit der Motorwinde durch einen Stahlstab verbunden. Dies bietet die Möglichkeit, die beiden Drahtseile gleichmäßig nach oben zu ziehen.

Beim Werkzeugeinzug, wie schematisch durch Abbildung 21 gezeigt, werden die anderen freien Enden von Drahtseilen mit dem Spanngurt um das Werkzeug herum verbunden. Dadurch wird das Werkzeug in die Maschine mit Hilfe der Motorwinde geschoben. Entscheidend dabei ist, dass die Drahtseile von dem Spanngurt nach der Anwendung zu lösen sind.



**Abbildung 21.** Prinzipschema für Lösung 1 beim Einzug.

Um das Werkzeug bei diesem Lösungsansatz herauszuziehen, werden die Drahtseile anders umgelenkt. Hierfür werden die kleinen Umlenkrollen benötigt, die im Prinzip schon auf dem Hubwagen geschraubt wurden. Die bereits auf den großen Umlenkrollen gewickelten Drahtseile werden zunächst manuell gezogen, anschließend um die anderen Umlenkrollen gewickelt und abschließend um das Werkzeug herum mittels Spanngurt verbunden. Ebenfalls mit Hilfe der Motorwinde verlässt das Werkzeug die Hydraulikpresse. Das nachfolgende Schema veranschaulicht dieses Prinzip.

Wie beim Werkzeugeinzug, folgt ebenso ein Lösen der Drahtseile nach dem Werkzeugauszug.

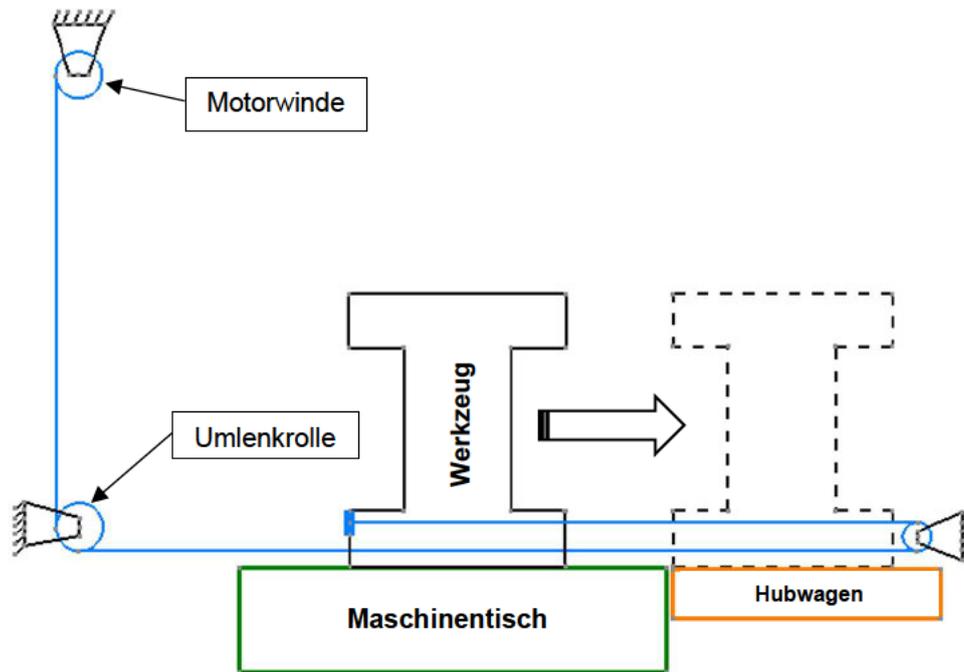


Abbildung 22. Prinzipschema für Lösung 1 beim Auszug.

- **Lösungsansatz 2:**

Der Lösungsansatz 2 besteht aus zwei Seilwinden, zwei Bolzenschrauben und einer Stahlkette. Die Seilwinden sind, hinter der Hydraulikpresse an der Wand und vorne auf dem Hubwagen, zu befestigen. Mit diesem Lösungsansatz müssen alle Werkzeuge an der Fußplatte gebohrt werden. Dabei werden zwei Gewindebohrungen für die beiden Bolzenschrauben auf den Seitenwänden vorgesehen, wo die Stahlkette angehängt wird.

Steht ein Werkzeug vor der Hydraulikpresse zum Einbau bereit, wird der Haken der hinteren Seilwinde manuell gezogen und auf die Stahlkette gehängt. Diese wird an den beiden Bolzenschrauben befestigt. Durch die Betätigung der Fernbedienung wird das Werkzeug in die Hydraulikpresse eingezogen.

Mit der ausgeschnittenen Draufsicht in Abbildung 23, wird der beschriebene Lösungsansatz beim Werkzeugeinzug gezeigt.

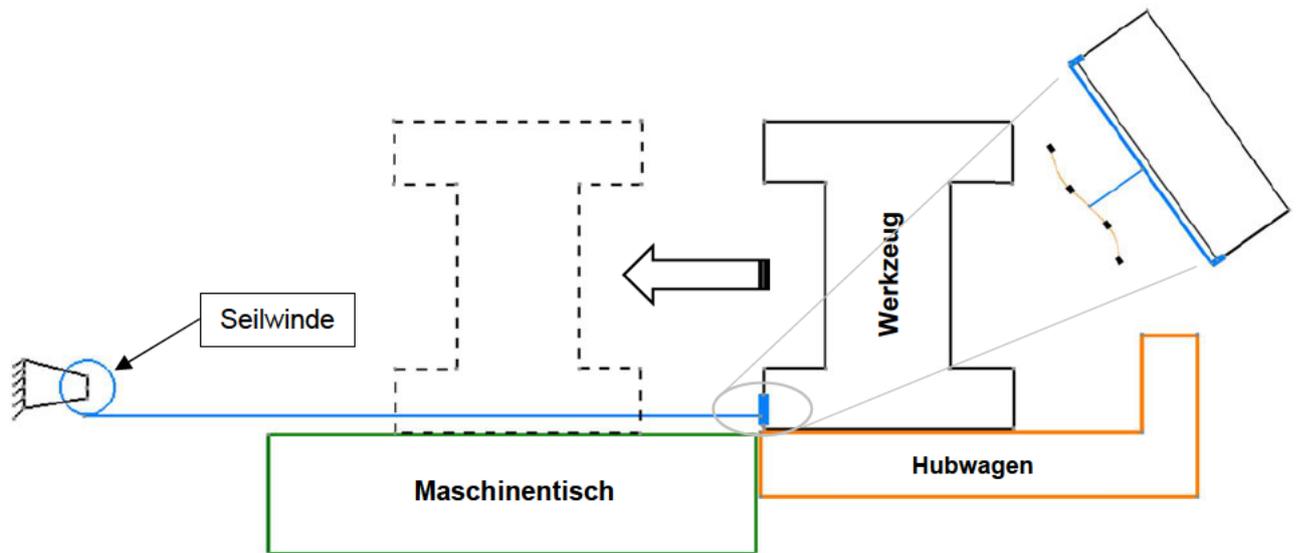


Abbildung 23. Prinzipschema für Lösung 2 beim Einzug.

In Abbildung 24 ist der Auszug des Werkzeugs für diesen Lösungsansatz 2 schematisch dargestellt. Das Prinzip bleibt identisch, wie beim Werkzeugeinzug. Die andere Seilwinde, die auf dem Hubwagen fixiert ist, ist in dem Fall einsetzbar. Dabei ist die Stahlkette auf der anderen Seite des Werkzeugs zu befestigen. Die Abläufe vom Ein- und Auszug des Werkzeugs unterscheiden sich jedoch nicht. Sowohl beim Ein- als auch Auszug muss die Stahlkette vom Werkzeug manuell gelöst werden.

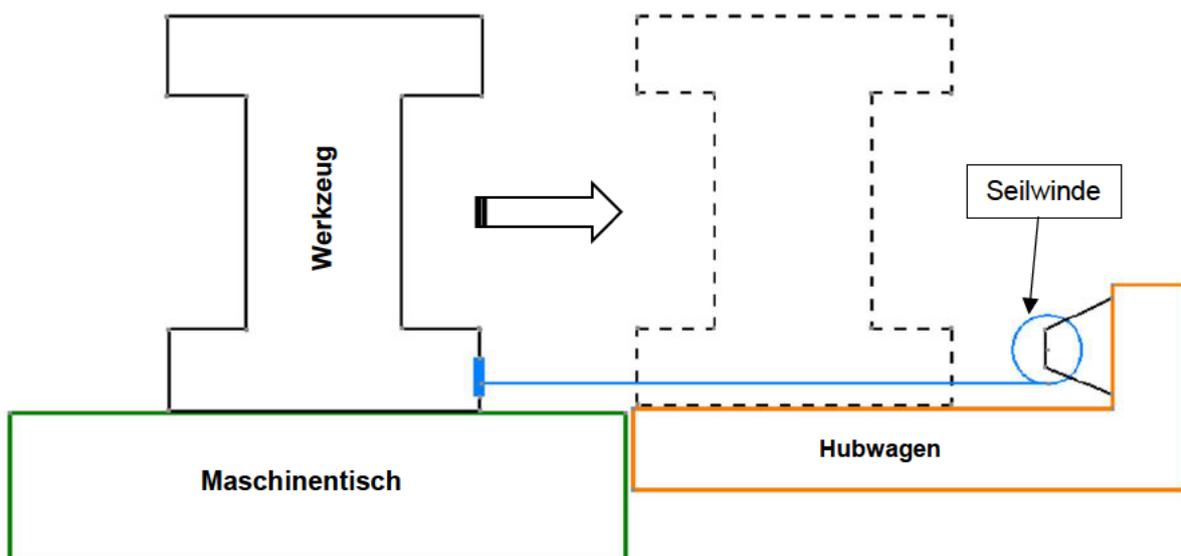


Abbildung 24. Prinzipschema für Lösung 2 beim Auszug.

### 5.3 Lösungsbeurteilung

Die Wahl für eine Lösungsvariante wird unter Anwendung einer Nutzwertanalyse entschieden, die in Tabelle 8 dargestellt ist. Das Vorgehen zur Beurteilung von Lösungen erfolgt identisch wie in Abschnitt 4.5. Die Kriterien leiten sich ebenso direkt aus dem Lastenheft ab, und werden jedoch unterschiedlich gewichtet. Zum Gewichten dieser Kriterien steht die Tabelle 7.

**Tabelle 7.** Gewichtungsmatrix für Ein- und Auszugshilfen.

Bewertungskriterien		Schnelle Umsetzbarkeit	Zuverlässigkeit	Einfacher Aufbau	Geringe Materialkosten	Einfache Benutzung	Wartungsarm	Einfache Lösbarkeit	Summe der „+“	Gewichtungsfaktor „g <sub>j</sub> “
		1	2	3	4	5	6	7		
1	Schnelle Umsetzbarkeit	■	+	+	+	-	+	-	4	0,19
2	Zuverlässigkeit	-	■	-	+	-	+	+	3	0,14
3	Einfacher Aufbau	-	+	■	+	-	+	-	3	0,14
4	Geringe Materialkosten	-	-	-	■	-	+	-	1	0,05
5	Einfache Benutzung	+	+	+	+	■	+	-	5	0,24
6	Wartungsarm	-	-	-	-	-	■	+	1	0,05
7	Einfache Lösbarkeit	+	-	+	+	+	-	■	4	0,19
<b>Summen</b>									21	1

Mit der Gleichung (4-1) wird der Gewichtungsfaktor jedes Kriteriums ermittelt. Zur Kontrolle sollte die Summe aller Gewichtungsfaktoren 1 bzw. 100 Prozent ergeben. Anhand der Tabelle 8 werden die Lösungsansätze bewertet. Dabei werden die aus dem Lastenheft abgeleiteten Kriterien und die zugehörigen Gewichtungsfaktoren aufgestellt. Abhängig vom Lösungsansatz wird jedes Kriterium benotet. Nullpunkte entsprechen eine Note „unbefriedigend“. Die Punktzahl vier entspricht der Benotung „sehr gut“. Zum Schluss ergibt sich die Wertigkeit jeder Lösung aus der Gleichung (4-2).

**Tabelle 8.** Wertigkeitsverfahren der Lösungsansätze für Ein- und Auszugshilfen.

	Gewichtung	Lösungsansatz 1		Lösungsansatz 2		Ideale Lösung	
		$g_i$	$p_i$	$p_i \cdot g_i$	$p_i$	$p_i \cdot g_i$	$p_{ideal}$
Schnelle Umsetzbarkeit	0,19	2	0,38	4	0,76	4	0,76
Zuverlässigkeit	0,14	3	0,42	3	0,42	4	0,56
Einfacher Aufbau	0,14	2	0,28	3	0,42	4	0,56
Geringe Materialkosten	0,05	3	0,15	3	0,15	4	0,20
Einfache Benutzung	0,24	2	0,48	3	0,72	4	0,96
Wartungsarm	0,05	2	0,10	3	0,15	4	0,20
Einfache Lösbarkeit	0,19	1	0,19	3	0,57	4	0,76
<b>Summe der Punktzahlen</b>		2		3,19		4	
<b>Rangfolge</b>		2		1		/	
<b>Wertigkeit der Lösungen (%)</b>		50%		79,75%		1	

Der Lösungsansatz 2 erzielt **3,19** von möglichen **4** bzw. Punkten. Dies entspricht einer Erfüllung von ca. **79,75%** der Anforderungen. Aus diesem Grund wird die Variante 2 verwendet. Entscheidend für die Auswahl der Lösung 2 ist die Schnelligkeit des Werkzeugwechsels und die Flexibilität. Darüber hinaus weist der Lösungsansatz 2, im Vergleich zu Lösungsansatz 1, weniger Aufwand bei der Umsetzung auf.

## 5.4 Bestimmung der Zugkraft

Für die Ermittlung der Zugkraft am Seil, wird eine Masse des Werkzeugs von  $m = 200 \text{ kg}$  angenommen. Es wird schematisch mit der nachstehenden Skizze gezeigt, wie das System in einer freigeschnittenen Form für die Berechnung betrachtet werden kann. Darauf sind die relevanten Kräfte für die Berechnung der Zugkraft dargestellt. Die in grün eingezeichnete Zugkraft zeigt die Bewegungsrichtung des Körpers. Die Reibungskraft in Rot dargestellt, ist so gerichtet, dass diese der Bewegung entgegenwirkt und einen Widerstand aufweist. Für die translatorische Bewegung des Werkzeugs muss die Zugkraft größer als die durch die Bewegung entstehende Reibungskraft [4, S.630] sein, wie in Relation (5-1) dargestellt.

$$F_z > F_r \quad (5-1)$$

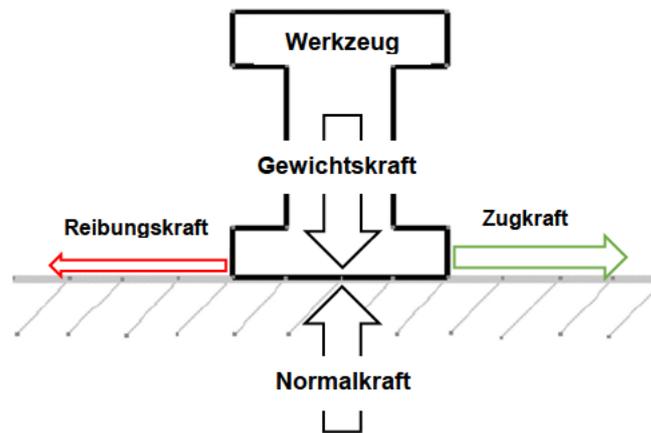


Abbildung 25. Freischnitt zur Berechnung der Zugkraft.

Die Normalkraft ist in diesem Fall die Reaktionskraft der gesamten Gewichtskraft und ist blau eingezeichnet. Grundsätzlich ist die Reibungskraft abhängig von der Normalkraft, vom Material, der Oberflächenbeschaffenheit und der Reibungsfläche der Körper. Für diese Berechnung sollen nur die Normalkraft ( $F_n$ ) und die Oberflächenbeschaffenheit ( $\mu_r$ ) berücksichtigt werden. Aus diesen beiden ergibt sich für die Reibungskraft die Gleichung (5-2).

$$F_r = \mu_r \cdot F_n \quad (5-2)$$

Die Gewichtskraft entspricht der Normalkraft. Diese ist durch die Masse des Werkzeugs mit der Erdgravitation multipliziert.

$$F_g = F_n = m \cdot g \quad (5-3)$$

Mit  $m = 200 \text{ kg}$  und  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Für Reibungskoeffizient  $\mu_r$  wird ein Wert aus der Abbildung 15 abgelesen. Die Reibung ist durch eine Bewegung, zuerst zwischen Werkzeug und Hubwagen, danach zwischen Werkzeug und Maschinentisch vorhanden. Die maximale Reibung tritt zwischen Werkzeug und Hubwagen auf, da die Oberfläche des Hubwagens trocken ist. Daraus wird ein Reibungskoeffizient von  $\mu_r = 0,40$  abgeleitet. Die Werte sind in Gleichung (5-5) eingesetzt.

$$F_r = \mu_r \cdot m \cdot g \quad (5-4)$$

$$F_r = 0,40 \cdot 200 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 784,8 \text{ N} \quad (5-5)$$

Laut Berechnung beträgt die Reibungskraft  $F_r = 784,4 \text{ N}$ .

Daraus resultiert, die Zugkraft  $F_z > F_r = 784,4 \text{ N}$ .

## 5.5 Auslegung der ausgewählten Lösungsvariante

Ziel dieses Kapitels war es, Einzugs- und Auszugshilfen für den Werkzeugwechsel zu untersuchen bzw. auszuwählen.

Die Seilwinde [12], auch bekannt unter dem Namen Drahtseilzugmaschine, ist ein Produkt von der Firma „Schmidt Security Tools“ und kann eine Last bis  $m = 200 \text{ kg}$  heben. Dies entspricht einer Gewichtskraft von  $F = 1962 \text{ N}$ . Wie in Abbildung 26 eingezeichnet, ist die Seilwinde der Firma Schmidt Security Tools 35 cm lang, 13,5 cm breit und 18 cm hoch. Das vorhandene Stahlseil hat eine Länge von 12 m. Das Drahtseil ist mit einem Haken und einer Fangvorrichtung ausgestattet. Durch die Ein-Mann-Bedienung über einen Teleskop-Bedienungsgriff, funktioniert die Zugmaschine in jeder Position mit einer maximalen Seilgeschwindigkeit von  $v = 10 \text{ m/min}$ . Die Befestigung der Seilzugmaschine kann mit zwei stabilen Schellen auf dem Hubwagen erfolgen. An der Wand muss diese mittels Dübel und Schrauben befestigt werden.



Abbildung 26. Ein Modell für die Seilwinde [12].

Die Bolzenschrauben sind mittig auf den Seitenwänden der Werkzeugfußplatte zu verschrauben und bieten somit die Möglichkeit, dass eine Verbindung zwischen Werkzeug und Stahlkette beim Zug entsteht.

Die bereits berechnete Zugkraft beim Werkzeugwechsel wirkt sich durch die Stahlkette auf die beiden Bolzenschrauben aus. Dies bedeutet, dass jede Bolzenschraube einer Kraft von ungefähr  $F_{QB} = 400 \text{ N}$  ausgesetzt ist. Dies entspricht einer Querbeanspruchung für die Bolzenschrauben.

Laut der im Abschnitt 4.6.2 berechneten Schraubendimensionierung, kann für die Bolzenschrauben, entsprechend dieser ausgesetzten Belastung, eine **M10** verwendet werden, da die Querbeanspruchung viel kleiner als die im Abschnitt 4.6.2 ist und dadurch eine größere Sicherheit gegen mechanische Beanspruchung entsteht.

Die Stahlkette muss auf eine bestimmte Länge ausgelegt werden. Diese entspricht mindestens der Länge, von einer Bolzenschraube um das Werkzeug herum bis zur anderen Bolzenschraube. Außerdem muss auch die Stahlkette an beiden Enden mit Haken ausgestattet werden. In Abbildung 27 ist eine Übersicht der Stahlkette bei Seiloo beispielhaft dargestellt. Dies ist eine 3 mm Stahlkette nach DIN 5685A aus Stahlmaterial C10~C15. Die Kette hat eine Tragkraft von  $F = 560 \text{ N}$  und weist einen Sicherheitsfaktor von 5 auf. Weitere technische Daten sind im Anhang dieser Bachelorarbeit zu finden.



**Abbildung 27.** Beispielansicht der Stahlkette von Seiloo [13].

## **6 Konzeptentwurf für die Lagerung und die Bereitstellung von Werkzeugen**

Im Laborraum der Umformtechnik werden die Werkzeuge, wie in Kapitel 3 beschrieben, für alle vorhandenen Pressen in einem Hochregal gelagert.

Ziel des Kapitels 6 ist der Entwurf eines möglichen und realisierbaren Grundkonzeptes für die Werkzeuglagerung und die Bereitstellung der verschiedenen Umformwerkzeuge. Dazu sind auch Randbedingungen und Anforderungen nach der Art eines Pflichten-/Lastenheftes (Anforderungsliste) zu definieren, um alle notwendigen Ideen zum Konzept zu sammeln. Der Entwurf entspricht dem Ablauf aus Kapitel 4.

### **6.1 Anforderungsliste für die Lagerung und Bereitstellung**

Es soll hier ebenfalls, wie bei der Vorrichtungskonstruktion, eine Anforderungsliste in Form einer Tabelle (siehe Tabelle 9) dargestellt werden. Diese muss alle relevanten Daten und Informationen für die Entwurfsphase und Konstruktion der Werkzeuglagerung beinhalten. Die Art und Weise der Darstellung und die Struktur der Inhalte ändern sich zu denen aus Abschnitt 4.1 nicht.

Ebenfalls erfolgt eine Unterscheidung zwischen Forderungen (**F**) und Wünschen (**W**).

**Tabelle 9.** Anforderungsliste für Werkzeuglagerung und Bereitstellung.

Lernort digitale Umformtechnik		Anforderungsliste für die Lagerung/Bereitstellung
Lfd. N°.	F/W	Anforderungen
<b>Geometrie</b>		
1	F	Grundrahmen definiert den Raumbedarf der Lagerung und der Bereitstellung. Maximale Raumgrößen: <b>Länge:</b> 4000 mm <b>Breite:</b> 700 mm <b>Höhe:</b> 2950 mm
2	F	Grundrahmen der Bereitstellung am Untergrund einstellbar.
3	W	Kompakter Bauraum.
<b>Mechanische Anforderungen/Kräfte</b>		
4	F	Max. Tragkraft der Lagerung entsprechend nach Anzahl der Werkzeuge zu definieren.
5	F	Max. Tragkraft der Bereitstellung nach dem schwersten Werkzeug zu dimensionieren.  <b>Schwerstes Werkzeug:</b> 200 kg
<b>Energie</b>		
6	F	Wirkungsgrad > 80%
7	F	Sehr geringe Reibung beim Transport von Werkzeugen.
<b>Werkstoff</b>		
8	W	Lagerungsgestell: Stahl.
9	W	Bereitstellungsgestell: Stahl.
<b>Allgemein</b>		
10	F	Einfache Bedienung.
11	F	Keine scharfe Kante.
12	W	Gute Austauschbarkeit von Komponenten.
13	W	Möglichst Verwendung von Norm- und Zukaufteilen.
14	W	Ohne Spezialwerkzeug montierbar.
15	W	Signalanzeige und Beleuchtung.

## 6.2 Funktionsanalyse und Funktionsstruktur

Im weiteren Verlauf sollen mit der oben erstellten Anforderungsliste die Teilfunktionen analysiert werden. Wie im Abschnitt 4.2, ist zuvor das zu entwerfende Konzept mit der Black-Box Methode darzustellen (siehe Abbildung 9).

Relevante Eingangsparameter für das zu entwerfende System sind die Befehle, die nach einem Werkzeugwunsch eingegeben werden müssen. Störgrößen werden dabei nicht erläutert. Bei der späteren Dimensionierung müssen Störgrößen jedoch berücksichtigt werden, da diese einen Einfluss auf das Ergebnis haben. Die Ausgangsparameter entsprechen einem Signal, das übermittelt wird, sobald das aufgerufene Werkzeug von der Lagerungsstelle abgeholt ist und auf der Arbeitsposition der Hydraulikpresse steht.



**Abbildung 28.** Black-Box für den Konzeptentwurf von Werkzeuglagerung und Bereitstellung.

## 6.3 Morphologischer Kasten

Zur Ermittlung aller möglichen Lösungen, dient der morphologische Kasten, wie in Tabelle 10 dargestellt. Der Morphologische Kasten ist modular erstellt und lässt sich bei Bedarf einfach zu einem späteren Zeitpunkt ändern. In diesen Kasten sind alle recherchierten Teillösungen für die einzelnen Funktionen eingetragen. Die einzelnen Teillösungen sind zu mehreren Gesamtlösungen farblich verbunden.

Im morphologischen Kasten sind drei farbliche Lösungsvarianten für das zu erarbeitende Konzept ausgeführt.

Tabelle 10. Morphologischer Kasten mit farbigen Lösungsvarianten.

Morphologischer Kasten		Teillösungen			
Funktionen		TL1	TL2	TL3	TL4
Lagerung	Systemart	Pneumatisch	Hydraulisch	Mechanisch	Elektrisch
	Gestell	Flach	Fachwerk	Beton	-
	Antriebsart	Servomotor	Dieselmotor	Asynchron Elektromotor	Schrittmotor
	Material	Stahl	Gusseisen	Alu- Legierung	Edelstahl
	Form	Eckig	Vertikal	Rund	Horizontal
	Fixierung	Verschweißt	Dübel	Aufgelagert	-
	Verstellung	Nut	Zahnrad	Stellschraube	-
	Bedienungsart	Automatisch	Manuell	Halb- automatisch	-
Bereitstellung	Systemart	Elektrisch	Mechanisch	Hydraulisch	Pneumatisch
	Gestell	Beton	Fachwerk	Flach	-
	Antriebsart	Schrittmotor	Asynchron Elektromotor	Dieselmotor	Servomotor
	Material	Edelstahl	Alu- Legierung	Gusseisen	Stahl
	Form	Horizontal	Rund	Vertikal	Eckig
	Fixierung	Aufgelagert	Dübel	Verschweißt	-
	Verstellung	Stellschraube	Zahnrad	Nut	-
	Bedienungsart	Halb- automatisch	Manuell	Automatisch	-
Lösungsvarianten		LV1	LV2	LV3	

## 6.4 Präsentation der Lösungsvarianten

- Lösung 1:

Die Lösungsvariante 1 besteht aus einem Fließband, einem Regal und einem Hydraulikzylinder. Das Regal steht hinter dem Fließband. Die Länge des Fließbandes ist an die Höhe des Regals angepasst. Da das Regal grundsätzlich nur aus einer Lagerreihe besteht, müssen die Werkzeuge horizontal nebeneinander eingelagert werden. Die Lagerkapazität des Regals lässt sich in Anhängigkeit der Länge schätzen. Diese Kapazität kann zu einem späteren Zeitpunkt bei Erhöhung der Raumgröße optimiert werden.

Das Fließband wird dabei kreisförmig gestaltet und fährt die Werkzeuge bei Bedarf vom Regal bis zur Ladestation. Zur Rückfahrt der Werkzeuge ins Regal kommt wiederum das Fließband zum Einsatz. Dies ist schematisch in Abbildung 29 dargestellt.

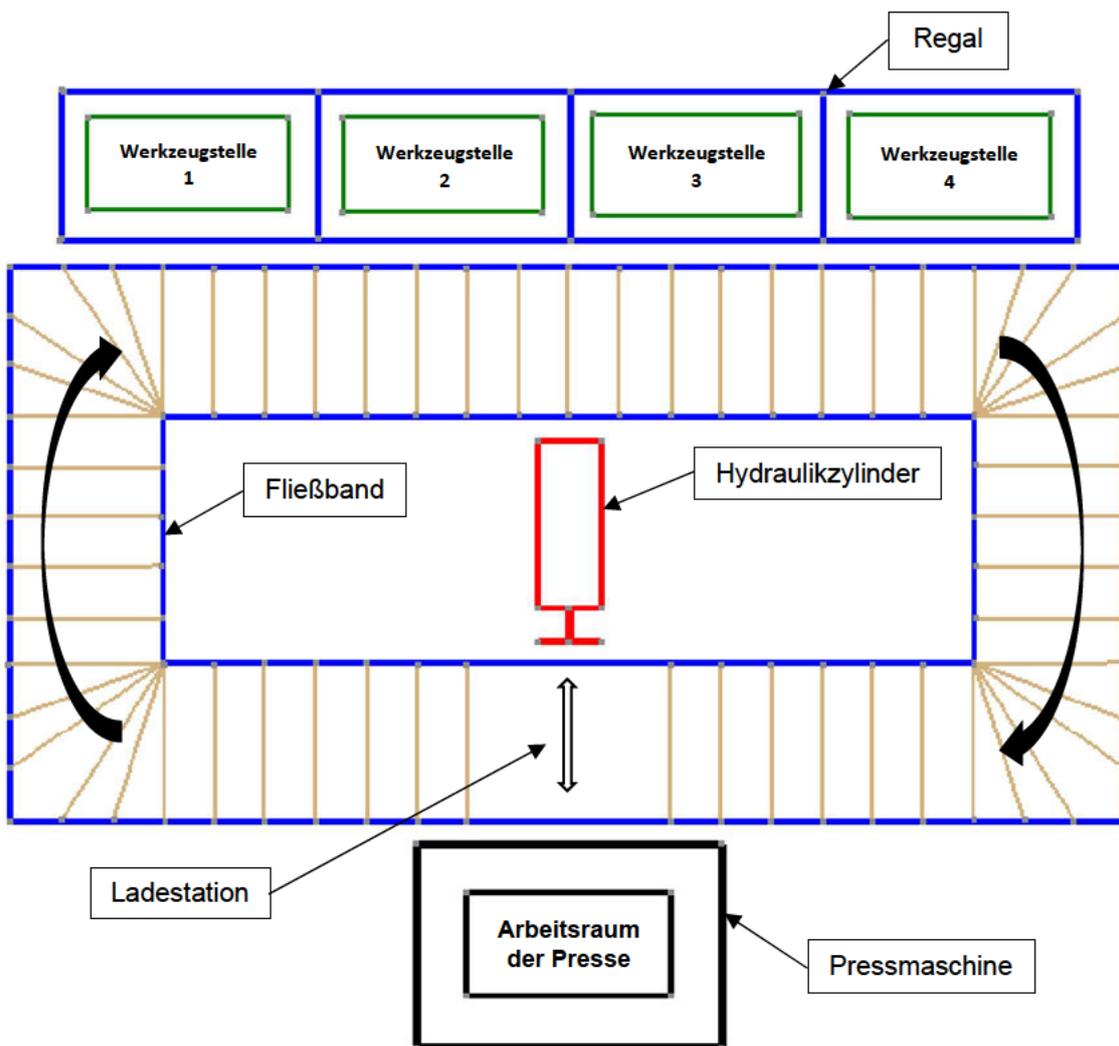


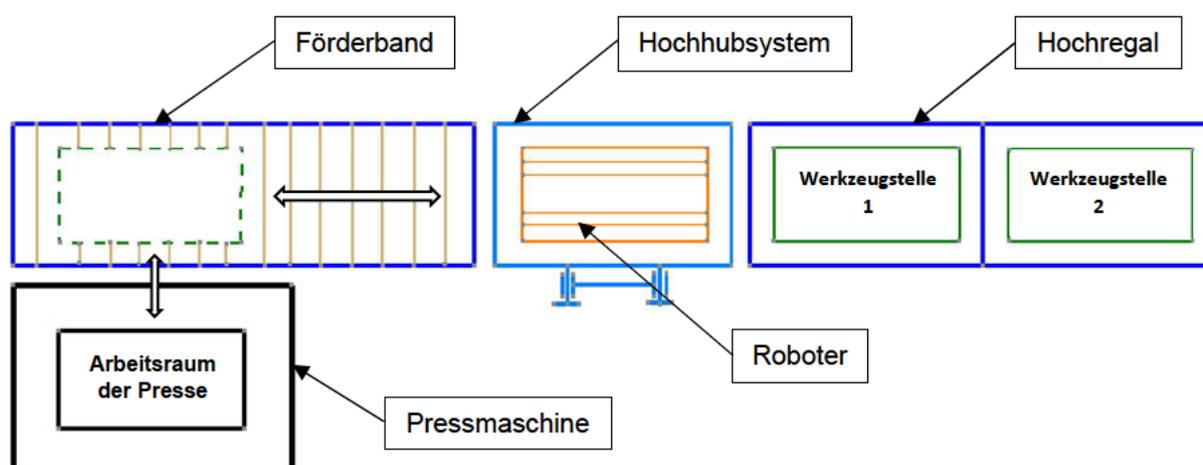
Abbildung 29. Konzept 1 für Lagerung und Bereitstellung von Werkzeugen.

An der Ladestation wird durch den Hydraulikzylinder das Werkzeug in die Pressmaschine geschoben. Bei der Entnahme des Werkzeugs aus der Pressmaschine ist ebenso der Hydraulikzylinder zuständig. Dieses System erfordert zur Realisierung einen sehr großen Platzbedarf. Für einen effizienteren Betrieb soll die Anlage in dem Fall voll automatisch angetrieben werden.

- **Lösung 2:**

Lösung 2, wie in Abbildung 30 exemplarisch dargestellt, besteht aus einem Hochregal, einem Förderband und einem Roboter. Das Hochregal wird in zwei Spalten mit mehreren Lagerreihen konstruiert. Aus diesem Grund können die verschiedenen Werkzeuge sowohl horizontal als auch vertikal durch eine Nummerierung im Hochregal eingelagert und identifiziert werden. Dazu ist zusätzlich ein mechanisches Hochhubsystem für das Hoch- und Runterfahren des Werkzeugs beim Lagern vorgesehen. Das Hochhubsystem wird zwischen Hochregal und Förderband montiert und am Boden fixiert. Zu diesem Hochhubsystem gehört auch der Roboter, der speziell für die Werkzeuge angepasst werden muss. Nach Bedarf muss der Roboter in den entsprechenden Hochregalkanal fahren, um das gewünschte Werkzeug zu entnehmen.

Das Förderband sorgt dafür, dass das aus dem Hochregal entnommene Werkzeug zu der Hydraulikpresse gefördert wird. Das Förderband bleibt im Einsatz, wenn ein Werkzeug nach seiner Nutzung ins Hochregal zurückgefahren werden muss.



**Abbildung 30.** Konzept 2 für Lagerung und Bereitstellung von Werkzeugen.

- **Lösung 3:**

Die dritte Lösung besteht aus einem Fließband und einem Hydraulikzylinder. Der Hydraulikzylinder ist ähnlich wie in Lösung 1 aufgebaut und funktioniert in dem Fall identisch. Das Konzeptmodell besitzt keine externe Lagerungsstation für die Werkzeuge. Die Werkzeuge werden auf dem Fließband nebeneinander mit einem bestimmten Abstand gelagert und müssen mittels Fließbandrotation vor der Ladestation gefahren werden (siehe Abbildung 31). Das System kann für diese Lösung entweder voll -oder halb automatisch gesteuert werden.

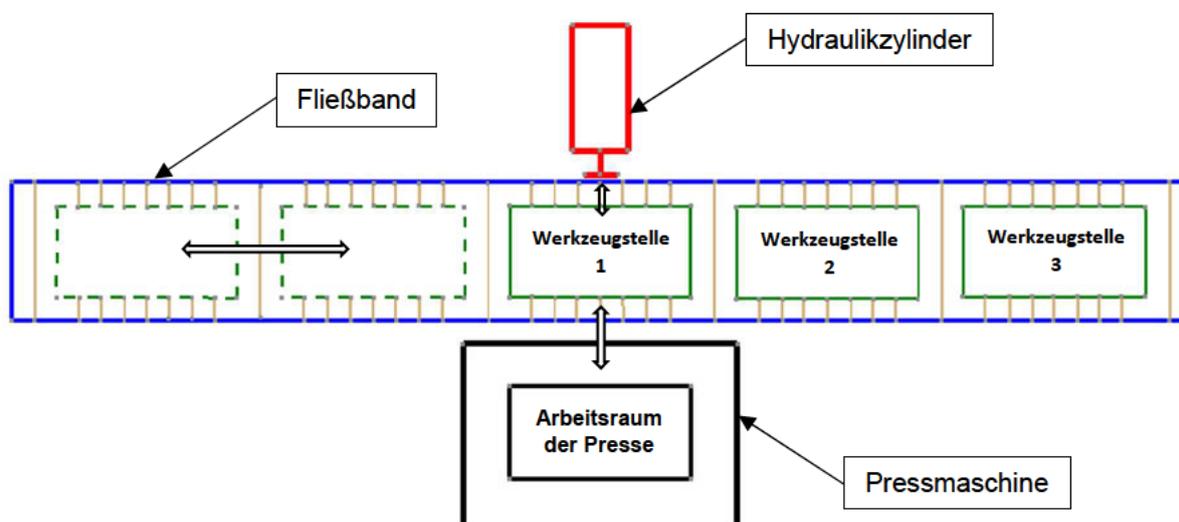


Abbildung 31. Konzept 3 für Lagerung und Bereitstellung von Werkzeugen.

## 6.5 Lösungsbewertung

Für die drei vorgestellten Lösungsvarianten muss eine ausgewählt werden. Hierfür werden die einzelnen Lösungsvarianten bewertet. Das Bewertungsverfahren wird aus Gründen der Relevanz nur aus zwei Beurteilungskriterien. Die Beurteilungskriterien werden erläutert, sowie ebenfalls in erforderliche und Wunsch Kriterien unterteilt.

- Raumbedarf des Konzeptes
- Menge an Werkzeugstellplätzen

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit, wird die Raumverfügbarkeit hinter der Hydraulikpresse gemessen, die dem Entwurf zugewiesen worden ist. Aus der Raumverfügbarkeit lassen sich unter anderem die Werte (Länge, Breite und Höhe) für das erste Hauptkriterium ableiten. In Abbildung 32 ist der Raum hinter der Hydraulikpresse den zugehörigen Maßen dargestellt.

Die Menge der Werkzeuge beschreibt die Anzahl der vorhandenen Werkzeugstellplätze. Hierfür müssen mindestens die vorhandenen Werkzeuge gelagert werden, und muss Platz für weitere noch zu bestellende Werkzeuge berücksichtigt werden.

Aktuell sind deshalb mindestens sechs Werkzeugstellplätze einzuplanen.



**Abbildung 32.** Übersicht des Raumes hinter der Pressmaschine.

Die Lösungsvariante 1 benötigt einen großen Raumbedarf. Durch die horizontale Lagerung wird die Anzahl der verfügbaren Lagerplätze reduziert. Im Vergleich zu Lösung 1, weist das Konzept 2 einen geringen Raumbedarf auf. Durch die horizontale und vertikale Lagerung, bietet das Konzept 2 eine große Anzahl an Werkzeugstellplätzen, sodass diese bei neuen angeschafften Werkzeugen ebenfalls in der konzeptionierten Lagerung vorgehalten werden können.

Die Lösung 3 ist Einfachste der vorgestellten Lösungen. Im Gegensatz zu den beiden Ersten, wird das Konzept 3 die kleinste Anzahl an Werkzeugen lagern, da die Lagerung auf dem Fließband stattfindet und dieses zum besseren Betrieb nicht vollständig belegt werden darf.

Der Raumbedarf der Lösung 3 entspricht mehr oder weniger dem gesamten vorhandenen Platz.

Nach Beurteilung der drei dargestellten Lösungsvarianten und entsprechend den oben erwähnten Hauptbewertungskriterien, ist das Konzept 2 das geeignetste. Konzept 3 kann die Aufgabe momentan mit den vorhandenen Werkzeugen erfüllen, aber später mit den noch hinzukommenden nicht mehr. Im Vergleich dazu, erfordert das Konzept 2 einen erhöhten Aufwand bei der Beschaffung von Bauteilen und bei der Fertigung. Die Montage und Demontage bei allen drei vorgestellten Konzepten muss unter identischen Randbedingungen erfolgen, weshalb hier kein Unterschied der Konzepte vorhanden ist. Durch die vertikale Lagerung, bietet das Konzept 2 weniger Stabilität als die anderen dar.

### 6.6 Entwurfszeichnung des Lagerungskonzepts

Als Entwurfszeichnung wird ein Modell in Catia-V5 ohne detaillierte Komponenten ausgeführt. Darin lassen sich die Hauptteile unterscheiden, die bereits bei der Beschreibung der entsprechenden Lösungsvarianten erwähnt sind. Wie bei den Lösungsvarianten beschrieben, besteht das ausgewählte Konzept aus einem Hochregal, einem Hochhubsystem in Kombination mit Roboter und einem Förderband. Das Hochregal ist, wie in Abbildung 33 dargestellt, in zwei Spalten mit vier Lagerstockwerken ausgeführt und bietet somit Raum für sieben Werkzeugstellplätze. Jedes Lagerstockwerk wird mit sogenannten Regalkanälen ausgerüstet, die als Weg vom Roboter beim Einsatz benutzt werden, um das gewünschte Werkzeug zu transportieren.

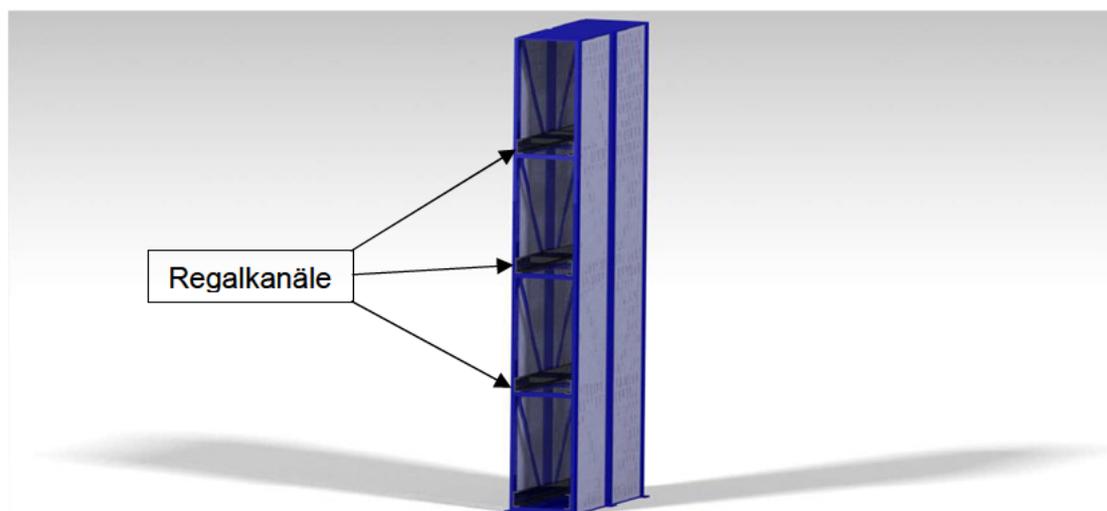
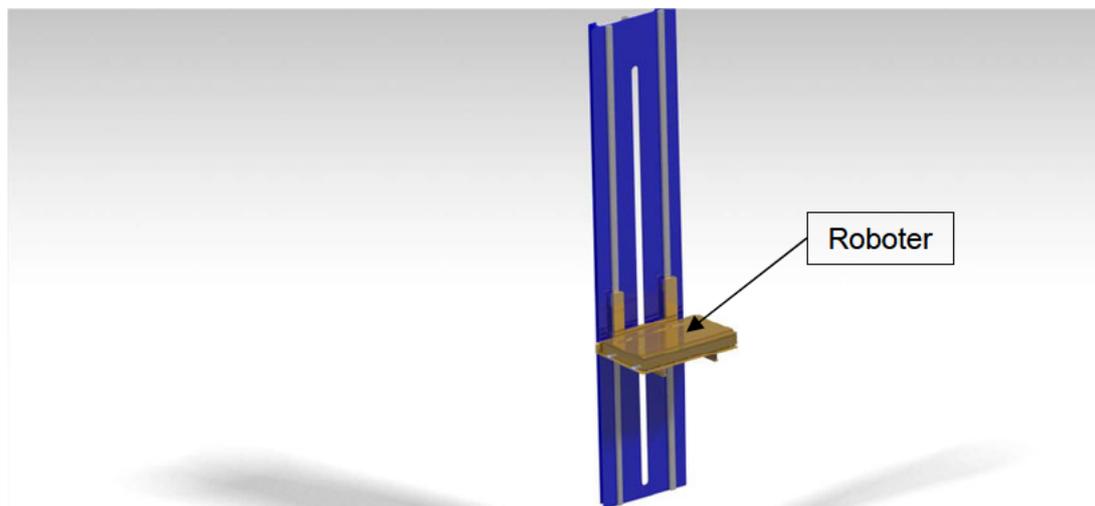


Abbildung 33. Das Hochregal.

Das Hochhubsystem (siehe Abbildung 34) wird exakt vor dem Hochregal platziert und automatisch gesteuert. Das Hochregal hat die Funktion, den Roboter inklusive der Werkzeuge hoch- und runterzufahren, damit diese entweder auf dem vordefinierten Platz im Hochregal platziert werden oder die von dem Hochregal zur Verfügung gestellt werden.

Vor dem Aspekt, dass der Roboter viel aufwändiger bei der Dimensionierung ist und exakt für alle Werkzeuge angepasst werden muss, ist es effizienter diesen bei einer externen Firma zu beauftragen. Die Auswahl ist eine Kostenfrage. Das Rechercheergebnis zu einem Hersteller, ist die Firma „Gebhardt Fördertechnik“ [7]. Ein paar Bilder von ihren Produkten stehen im Anhang.

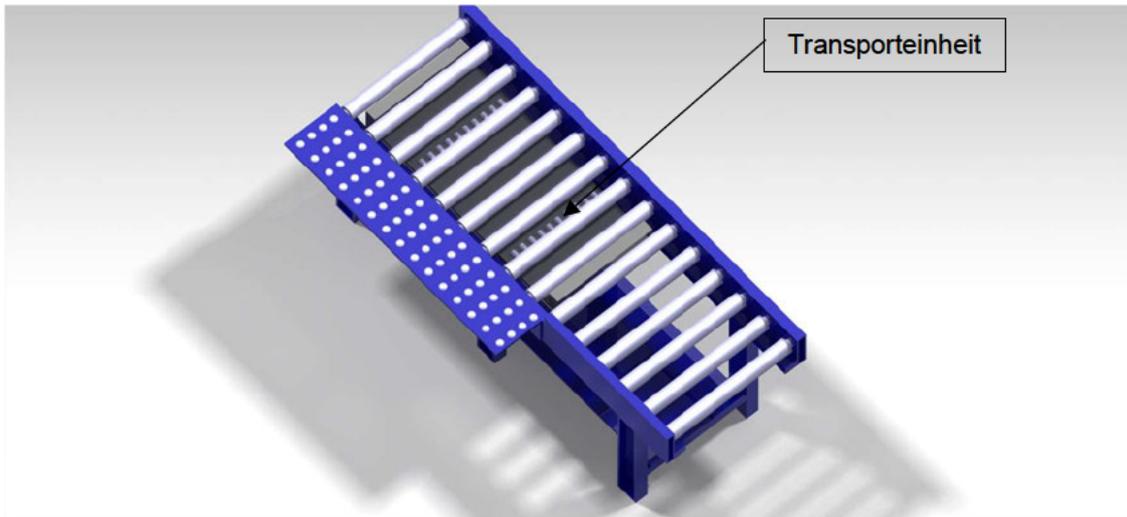


**Abbildung 34.** Das Hochhubsystem.

Aufgrund der beschränkten Raumverfügbarkeit und der Mindestanzahl der Werkzeuge fürs Hochregal, kam es zur Entscheidung, dass es auf Boden ausgestempelt werden musste, wo das Hochregal und das Hochhubsystem stehen werden. Dies bedeutet, dass das Hochregal in einer Bodentiefe von ungefähr fünfundvierzig Zentimeter fixiert werden muss, damit die Mindestanzahl der Werkzeuge erreicht wird. Dies gilt auch für das Hochhubsystem. Dieses muss weiter in den Boden fixiert werden.

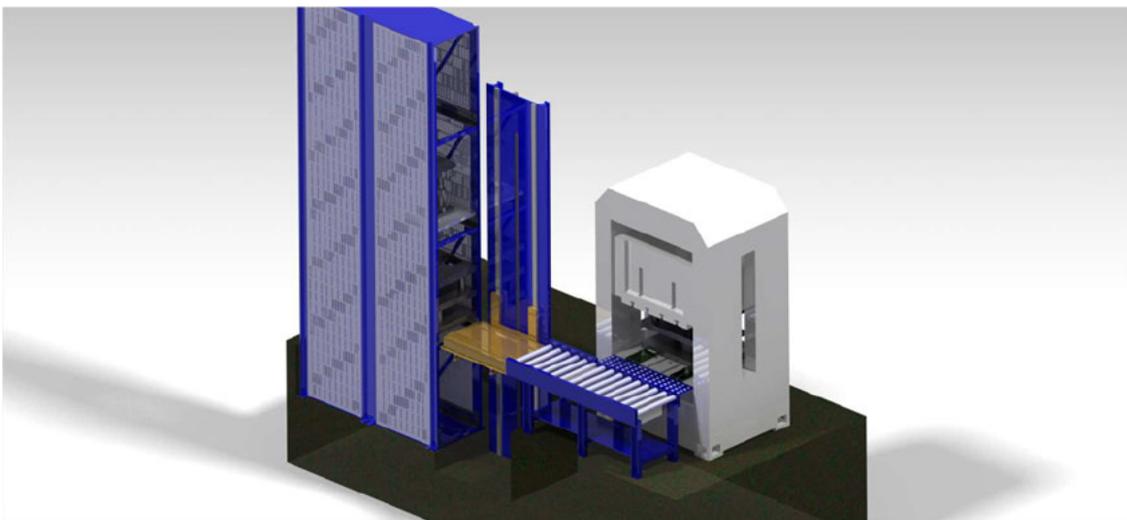
Im Gegensatz zu Hochregal und Hochhubsystem wird das Förderband direkt auf dem Fußboden verschraubt. Dabei fährt das Förderband das bereits von Hochregal entnommene Werkzeug bis hinter die Hydraulikpresse. Dazu wird auch eine Transporteinheit vorgesehen, die für die Bereitstellung und die Positionierung von Werkzeugen im Arbeitsraum zuständig ist.

Diese Transporteinheit gehört zum Förderband und bleibt unter den Rollzylinder des Förderbandes, wie in Abbildung 35 dargestellt. Steht ein Werkzeug auf dem Förderband hinter der Hydraulikpresse, fährt die Transporteinheit durch den Rollzylinder hoch, hebt das Werkzeug an und positioniert dieses mit Hilfe von zwei Führungsarmen im Arbeitsraum der Hydraulikmaschine. Nach dem Einsatz wird das Werkzeug von der Hydraulikmaschine zum Förderband durch diese Transporteinheit entfernt.



**Abbildung 35.** Das Förderband.

In Abbildung 36 ist der Aufbau des gesamten Lagerkonzeptes inklusive der Hydraulikpresse dargestellt.



**Abbildung 36.** Darstellung der gesamten Anlage.

## 7 Fazit

Gegenstand dieser Arbeit war es, eine Vorrichtung in Kombination mit Ein- und Auszugelementen zur Erleichterung des Werkzeugwechsels an der hydraulischen Presse im Lernort digitale Umformtechnik zu konzeptionieren und zu konstruieren. Ergänzend dazu wurde ein Konzept für die Werkzeuglagerung und Bereitstellung der unterschiedlichen Umformwerkzeuge entworfen.

Die Arbeit wurde in sieben Kapitel unterteilt: Einleitung der Arbeit, Erklärung der Konstruktionsmethodik, Präsentation der Aufgabenstellung, drei Konstruktionsphasen und das Fazit. Nach Einführung in die Thematik inklusive Zielsetzung, wurde die Konstruktionsmethodik dieser Bachelorarbeit erklärt. Dies geschah in Anlehnung an die Richtlinie VDI-2221 und zum Teil an die 5S-Methode.

Durch die eindeutige Analyse der gesamten Aufgabenstellung und die Beschreibung der aktuellen Ausgangssituation, wurden zuerst die Anforderungen für die Vorrichtungskonstruktion in Form einer Tabelle erstellt und dazu die grundlegenden Funktionen ermittelt. Mithilfe einer morphologischen Darstellung wurden durch die Kombination von selbsterstellten Teillösungen drei Lösungsvarianten gefunden. Die Lösungsvarianten wurden dann nach Rangfolgegewichtungsverfahren gemäß der Anforderungskriterien bewertet. Die Lösungsvariante 3 erzielte die meisten Punkte aus der Bewertungstabelle, wurde in der Entwurfsphase weiterverfolgt und dementsprechend mit benötigten Auslegungsberechnungen ausgeführt. Daraus resultierte ein CAD-Modell für die Vorrichtung mit allen notwendigen Komponenten.

Des Weiteren wurden nach Ideenfindung zwei Lösungsansätze für Ein- und Auszugshilfen des Werkzeugs dargestellt. Unter Anwendung einer Nutzwertanalyse wurde der Lösungsansatz 2 ausgewählt. Anschließend wurde eine Berechnung zum besseren Nachweis von zugehörigen Elementen des ausgewählten Ansatzes durchgeführt. Dieses Kapitel resultierte in der Darstellung der zugehörigen Elemente, die zum Beispiel auf dem Markt günstig erworben werden können.

Dann wurde eine Anforderungsliste für die Werkzeuglagerung und Bereitstellung aus dem Lastenheft erstellt. Die Funktionsanalyse und der morphologische Kasten wurden dazu entwickelt. Durch die tabellarische Darstellung des morphologischen Kastens wurden drei Lösungskonzepte präsentiert. Im Vergleich zu den anderen Konstruktionsphasen, wurde die Lösung 2 nicht unter Anwendung einer Nutzwertanalyse oder eines Rangfolgegewichtungsverfahrens ausgewählt, sondern mit Hilfe von zwei definierten Beurteilungskriterien, die relevant für den Konzeptentwurf sind. Am Ende dieses Kapitels folgte

ausführliche Beschreibung der ausgewählten Lösung 2 anhand der zugehörigen Komponenten. Ein CAD-Modell der einzelnen Komponenten und ein Aufbau des gesamten Lagerkonzeptes wurden ebenfalls konstruiert.

Besonderen Wert wurde auf die Nachvollziehbarkeit der Vorrichtungskonstruktion und der Auswahl von Ein- und Auszugshilfen des Werkzeugs gelegt, da diese sofort zum Einsatz kommen müssen. Die Vorrichtung wurde aus zwei Teilen entwickelt und wird laut Berechnung, mit zwei Schrauben **M12 - 8.8 x 65** auf den Maschinentisch der Hydraulikpresse befestigt. Als Hilfsmittel für Ein- und Auszug von Werkzeugen, wurden nach Berechnung und Ermittlung der Randbedingungen zwei Seilwinden in Kombination mit Stahlkette und Bolzenschrauben ausgewählt. Durch die Entscheidung dieser genormten und fertigen Elemente konnten effektiv Kosten eingespart werden. Bei den Fertigungskosten für die Vorrichtung konnte ebenfalls eine Reduktion erzielt werden, da sich die Vorrichtungsteile von der HAW fertigen lassen und alle Verbindungen geschraubt werden konnten.

Die Vorrichtung kann jetzt problemlos für den häufigen Werkzeugwechsel an der hydraulischen Presse eingesetzt werden, bis die Entscheidung getroffen wird, den Konzeptentwurf für die Werkzeuglagerung und Bereitstellung von Werkzeugen weiterzuführen und letztendlich zu realisieren. Dies gilt auch für die ausgewählten Elemente zum Ein- und Auszug des Werkzeugs.

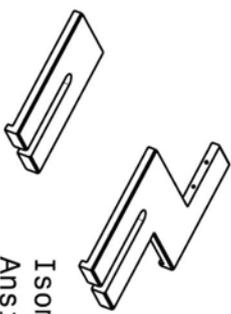
## Literaturverzeichnis

- [1] Departement Produktionstechnik. (14. Aug. 2020). *HAW Hamburg*. Von <https://www.haw-hamburg.de/hochschule/technik-und-informatik/departments/maschinenbau-und-produktion/institute-und-einrichtungen/ipt/schwerpunkte/lernort-digitale-umformtechnik/> abgerufen
- [2] Dietrich, P. D.-I. (kein Datum). *Praxis der Umformtechnik*. Springer Vieweg.
- [3] Hauger.Mannl.Wall.Werner, P. D.-I. (kein Datum). *Technische Mechanik 3*. Springer Vieweg.
- [4] Jannasch, P. D.-I., Voßiiek, P. D.-I., Wittel, D.-I. H., & Muhs., D.-I. D. (kein Datum). *Roloff/Matek Maschinenelemente (Normung, Berechnung, Gestaltung)*. Springer Vieweg.
- [5] Jannasch, P. D.-I., Voßiiek, P. D.-I., Wittel, D.-I. H., & Muhs., D.-I. D. (kein Datum). *Roloff/Matek Maschinenelemente (Tabellenbuch)*. Springer Vieweg.
- [6] Nourney, V. (kein Datum). *TabellenbuchMetall*. Europa Lehrmittel.
- [7] O-Verf.: (2018). *Gebhardt Fördertechnik*. Von <https://www.gebhardt-foerdertechnik.de/> abgerufen
- [8] O-Verf.: (2021). *IMB Unternehmensberatung* . Von <https://www.imb-ub.com/beratungsfelder/5s-methode/> abgerufen
- [9] O-Verf: Arbeitsrechte. (kein Datum). *Lastenhandhabungsverordnung*. Von [https://www.arbeitsrechte.de/lastenhandhabungsverordnung/#Lastenhandhabungsverordnung\\_Berechnung\\_der\\_Grenzwerte\\_mittels\\_Leitmerkmalmethode](https://www.arbeitsrechte.de/lastenhandhabungsverordnung/#Lastenhandhabungsverordnung_Berechnung_der_Grenzwerte_mittels_Leitmerkmalmethode) abgerufen
- [10] O-Verf: Kern. (kein Datum). Von <https://www.kern.de/de/richtwerttabelle> abgerufen
- [11] O-Verf.: (kein Datum). *Refa.de*. Von Refa Group: <https://refa.de/service/refa-lexikon/5s-methode> abgerufen
- [12] O-Verf: SCHMIDT. (kein Datum). *Amazon*. Von [https://www.amazon.de/Elektrische-Flaschenzug-SCHMIDT-security-tools/dp/B07HD251WK/ref=sr\\_1\\_4?\\_\\_mk\\_de\\_DE=%25C3%2585M%25C3%2585%25C5%25BD%25C3%2595%25C3%2591&pd\\_rd\\_child=1&pd\\_rd\\_keywords=elektrische+seilwinde+100+kg+schmidt&pd\\_rd\\_qid=1614590732&pd\\_rd\\_sr=8-4](https://www.amazon.de/Elektrische-Flaschenzug-SCHMIDT-security-tools/dp/B07HD251WK/ref=sr_1_4?__mk_de_DE=%25C3%2585M%25C3%2585%25C5%25BD%25C3%2595%25C3%2591&pd_rd_child=1&pd_rd_keywords=elektrische+seilwinde+100+kg+schmidt&pd_rd_qid=1614590732&pd_rd_sr=8-4) abgerufen

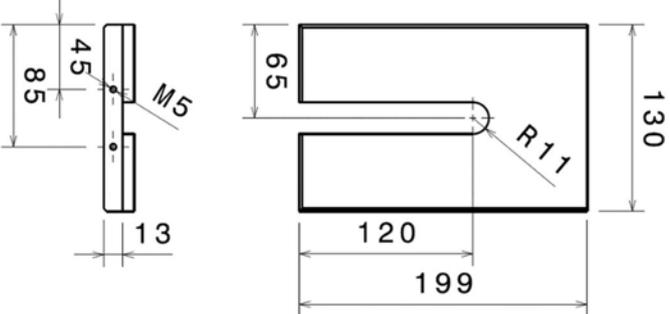
- [13] O-Verf.: (kein Datum). *Seiloo*. Von <https://seiloo.de/stahlkette-kurzgliedrig-din-5685a/354-2550-3mm-stahlkette-din-5685a-kurzgliedrig-rundstahlkette.html#/26-lange-1m> abgerufen
- [14] Pahl Gerhard, P. K. (2007). *Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag .
- [15] Paul, N. (2012). *Einführung in das Methodische Konstruieren für Studium und Praxis*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag .
- [16] VDI-Richtlinie 2221. (05-1993). *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme*. Düsseldorf: Beuth Verlag GmbH.
- [17] VDI-Richtlinie 2225 Blatt. (11-1998). *Konstruktionsmethodik technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Technisch-wirtschaftliche Bewertung*. Düsseldorf: Beuth Verlag GmbH.

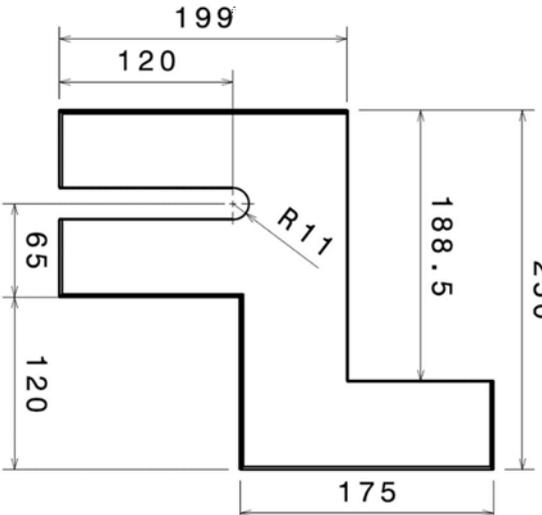
# Anhang

- Modell der Vorrichtung



Isometrische Ansicht



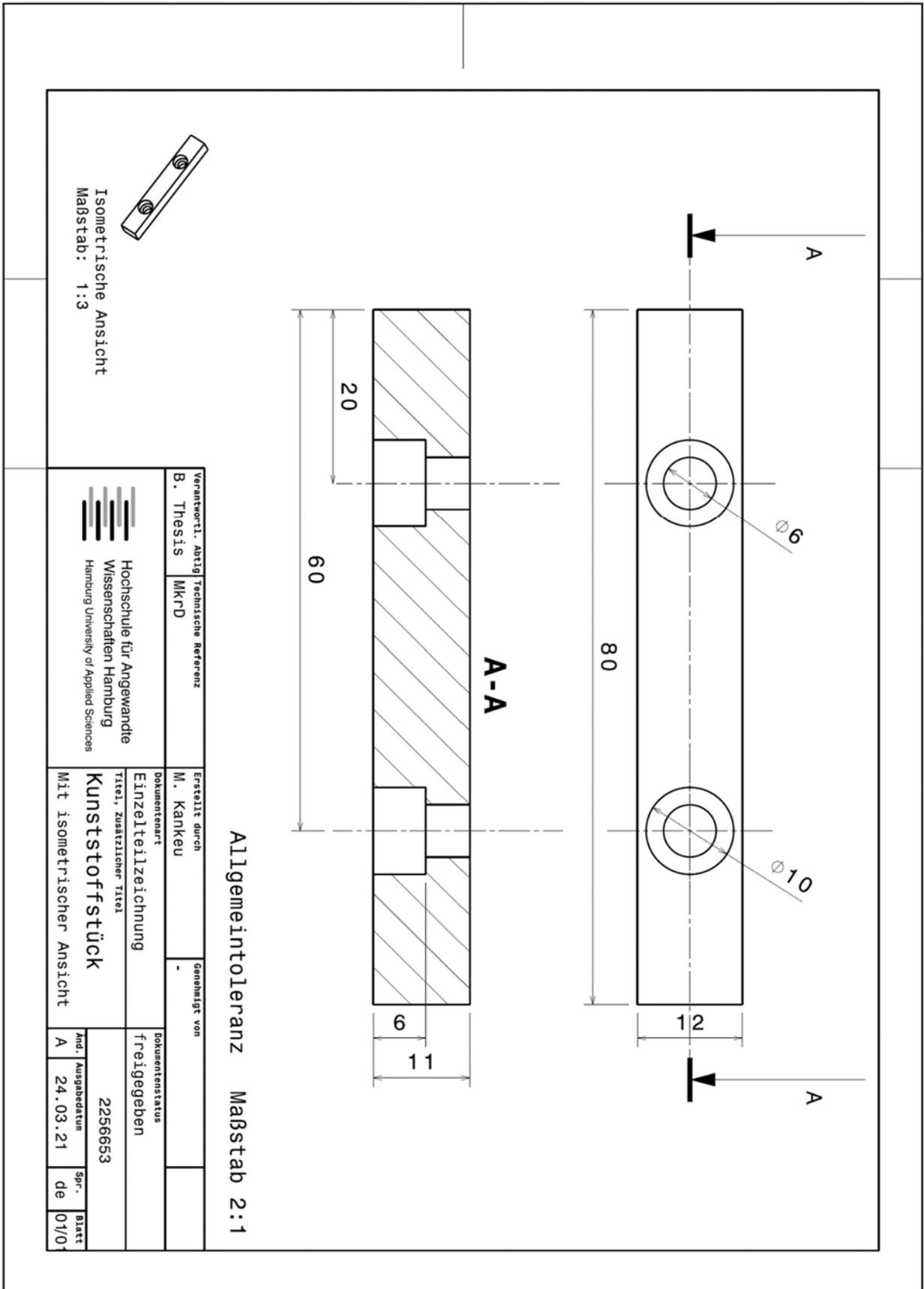


Allgemeintoleranz  
Maßstab 1:4

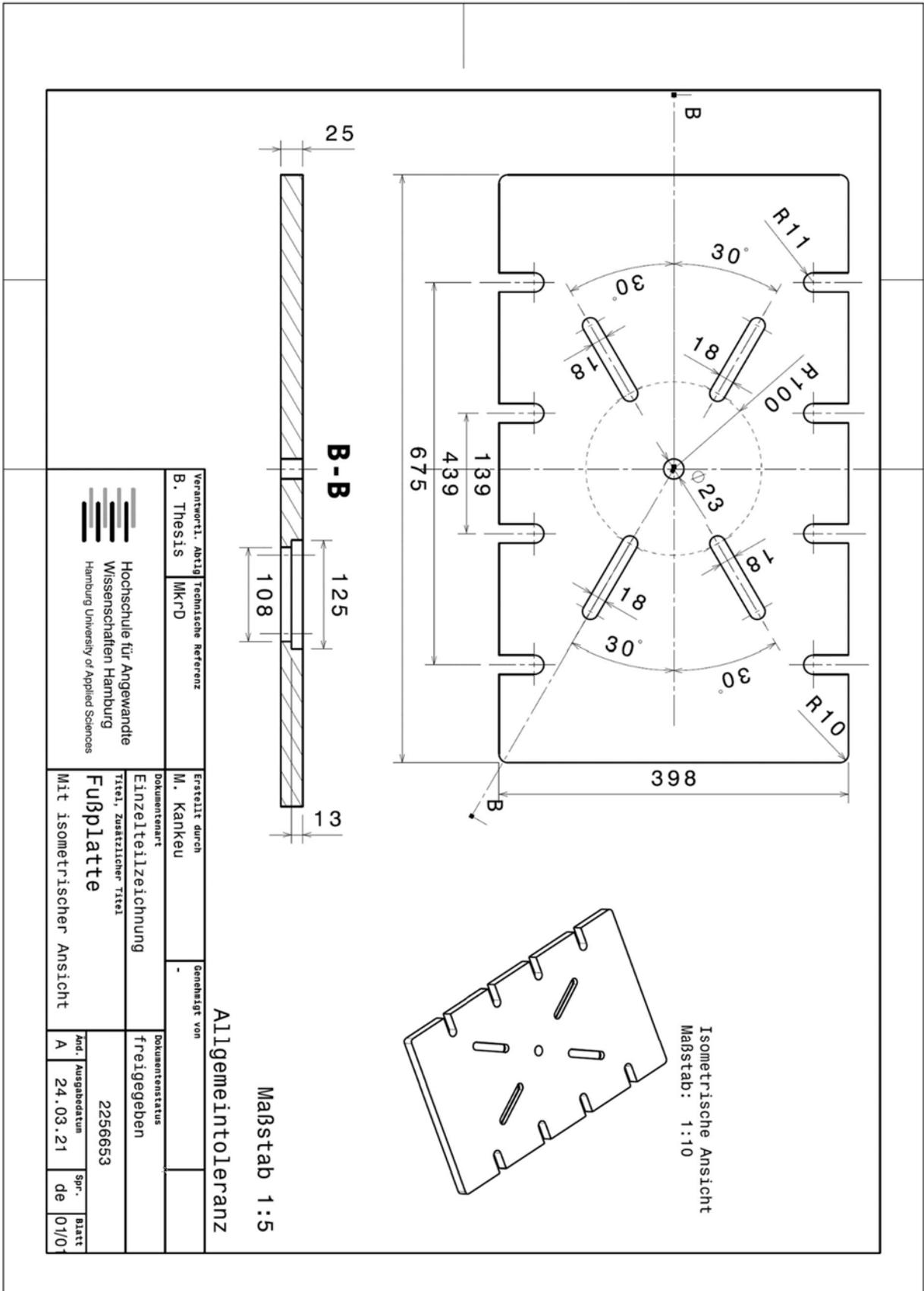


<b>Verantwortl. Abt./Technische Referenz</b>	B. Thesis IMkRD	<b>Erstellt durch</b>	M. Kankeu
<b>Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences</b>		<b>Genehmigt von</b>	-
<b>Dokumententyp</b>	<b>Einzelteilzeichnung</b>	<b>Dokumententatus</b>	<b>Freigegeben</b>
<b>Titel, Zusätzlicher Titel</b>	<b>Vorrichtung</b>	<b>2256653</b>	
<b>Mit isometrischer Ansicht</b>		<b>Andr. Ausgabedatum</b>	<b>Spr. Blatt</b>
		A 24.03.21	de 01/01

- Modell des Kunststoffstückes



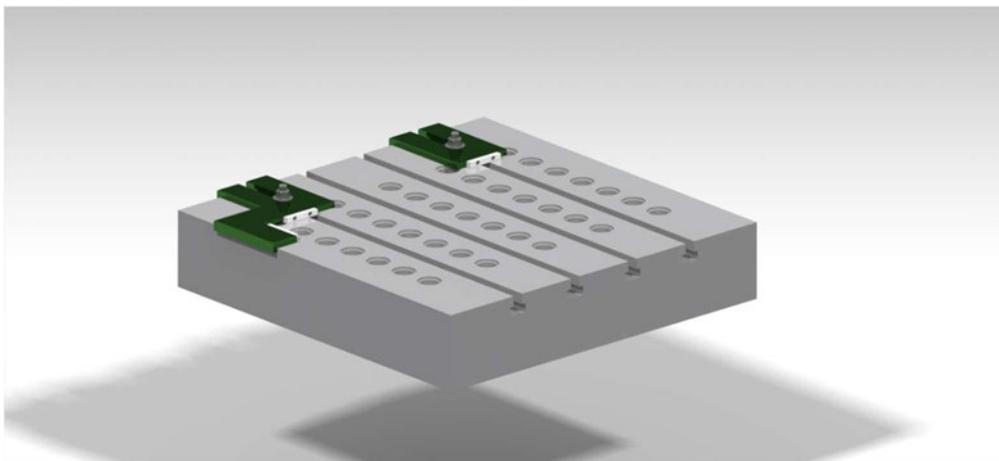
- Modell der zusätzlichen Fußplatte



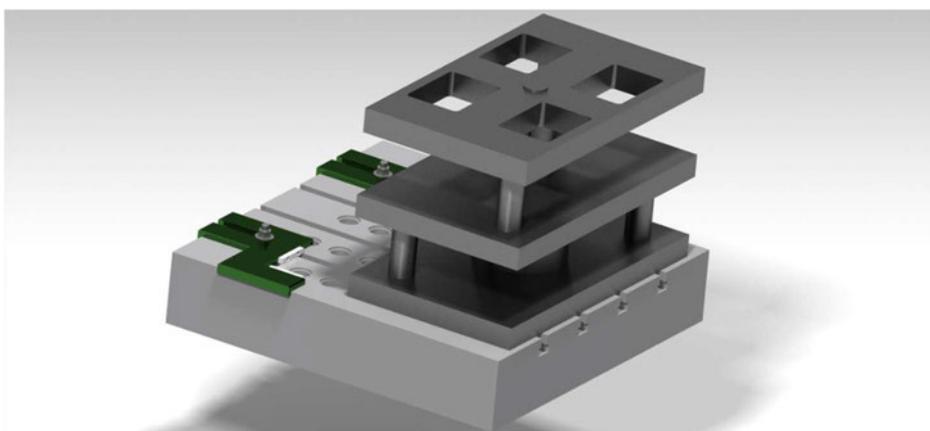
- Darstellung der Vorrichtung in der Einbausituation



- Vorrichtung auf dem Pressmaschinentisch



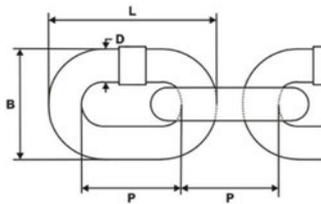
- Werkzeug beim Aufbau



- Bild einer Seilwinde

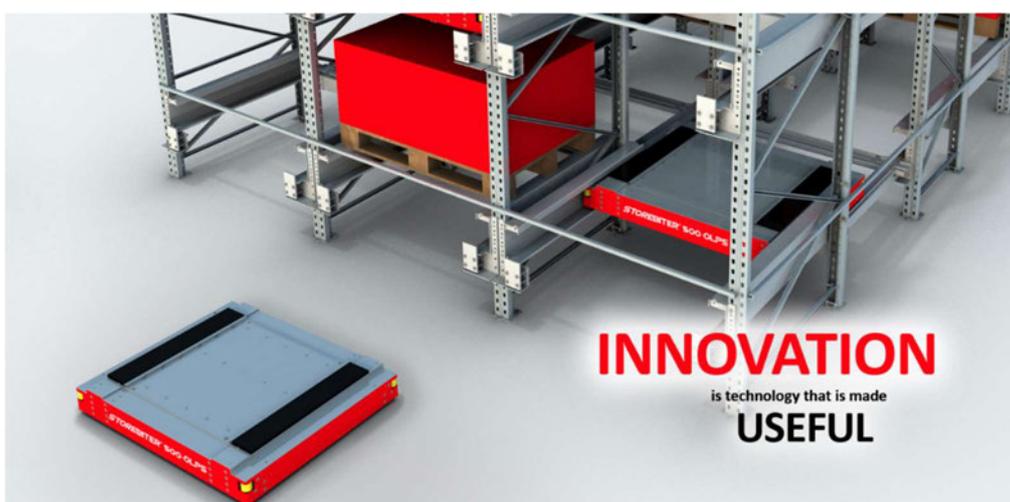
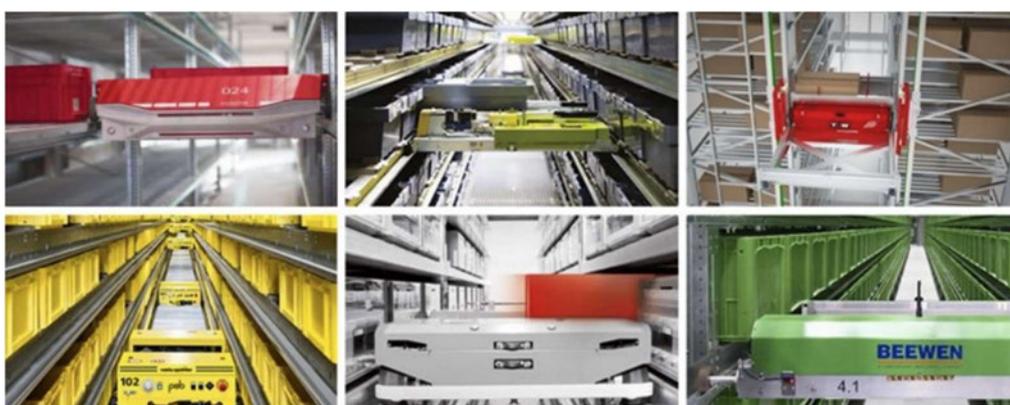


- Technische Daten der Stahlkette



Größe D (mm):	L (mm):	P (mm):	B (mm):	Gewicht (kg)/ Meter	Tragkraft (kp)	Bruchkraft (kp)	MAX Länge* (m)
2 mm	16	12	8	0.0690	25	125	110
3 mm	22	16	11	0.1606	56	280	60
4 mm	29	21	16	0.3040	100	500	40
5 mm	33	23	18	0.4570	160	800	30
6 mm	36	24	24	0.7234	225	1125	18
7 mm	43	29	27	1.0044	300	1500	-
8 mm	47	32	29	1.2888	400	2000	10
10 mm	58	39	38	1.7476	630	3150	10

- Fotos des Förderroboters



- Weitere Anhänge befinden sich in digitaler Form auf einer CD zu dieser Bachelorarbeit.
  - Alle Zeichnungen als PDF-Dateien
  - Alle Catia-Teile
  - Alle Catia-Produkte
  - Alle Catia-Zeichnungen



## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Mkuotchou Kankeu

Vorname: Rodrigue De Long

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit  bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Weiterentwicklung des Werkzeugkonzeptes an der hydraulischen Presse im Lernort digitale Umformtechnik

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswähle  ist erfolgt durch:

[Empty box for identifying parts of the work]

[Empty box for location]

Ort

[Empty box for date]

Datum

Unterschrift im Original