

**Masterarbeit**

# **PROTOTYPENENTWICKLUNG EINER DRAHTSTIFT- RICHTMASCHINE**

ausgeführt am



FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Fachhochschul-Masterstudiengang  
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

**Christopa Höllmüller, BSc**

1610322021

betreut und begutachtet von  
Dipl. Ing. Dr. Christian Gasser

Bruck an der Mur im Jänner 2018

.....

Unterschrift

## **EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

.....  
Unterschrift

## **DANKSAGUNG**

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Ehefrau Tamara, die mich während der Erstellung der vorliegenden Arbeit immer unterstützt und mir den Rücken freigehalten hat. Ohne diese Unterstützung, nicht nur während des Schreibens dieser Arbeit, sondern während des gesamten Studiums, hätte ich das nicht zustande gebracht.

Ein weiterer Dank geht an meinen Betreuer Herrn Dipl. Ing. Dr. Christian Gasser, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Er hat es verstanden, mich hinsichtlich der Qualität und des Potentials der vorliegenden Arbeit besonders anzuspornen.

Weiters möchte ich der Böhler Edelstahl GesmbH danken. Es wurde mir ermöglicht sämtliche Maschinen zu nutzen um verschiedene Werkzeuge und schlussendlich den Prototyp selbst anzufertigen. Die unterschiedlichsten Ideen zu untersuchen wurde dadurch erheblich erleichtert. Vielen Ideen konnte erst Dank dieser Infrastruktur Raum zur weiteren Umsetzung und Prüfung gegeben werden. Außerdem möchte ich meinen beiden Arbeitskollegen, Herrn Ing. Jürgen Schwarz und Herrn Herbert Berger für die anregenden Diskussionen mit Blick auf diese Abschlussarbeit danken.

## **KURZFASSUNG**

Werkstücken mit Hilfe unterschiedlichster Umformtechnologien eine gewünschte Gestalt zu verleihen, ist seit jeher Bestandteil technischer Prozesse. Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines spezifischen Werkzeuges zum Richten von Drahtstiften und in weiterer Folge mit der Konstruktion eines Prototyps. Insbesondere der Prozess vom zunächst vollständig von Hand durchgeführten bis hin zum automatisierten Arbeitsvorgang steht im Mittelpunkt der Untersuchung. Das Geraderichten von verbogenen Metallstiften stellt dabei die konkrete Herausforderung dar. Die vorangehende theoretische Auseinandersetzung beschäftigt sich mit wesentlichen Teilaspekten der Automatisierung von Arbeitsprozessen im Allgemeinen und im Speziellen, was heißt, etwa die Vereinzelung von Stiften, den Richtprozess per se, aber auch die Verpackung der Drahtstifte im Detail zu erörtern. Der Schwerpunkt liegt in einem ersten Schritt dementsprechend auf der Erarbeitung des theoretischen Grundwissens zur nachfolgenden Entwicklung eines Richtwerkzeuges. Auf Basis dieser Erkenntnisse werden im praktischen Hauptteil divergierende Lösungsmöglichkeiten für die Konstruktion eines Richtwerkzeuges einer eingehenden Prüfung unterzogen. Die potentiell geeignetste Methode zum Richten der Stifte wird daraufhin einer weitreichenden Versuchsreihe unterzogen, wodurch die Basis für die Konstruktion einer optimalen Richtwerkzeuggeometrie gegeben ist. Um dies zu realisieren wurde ein Prototyp entwickelt, der eine genaue Untersuchung des Richtprozess zulässt. Das entstandene Richtwerkzeug sowie der Prototyp fungieren in weiterer Folge als Ausgangspunkt für die Konzeptionierung einer automatischen Drahtstift-Richtmaschine. Bei diesem Konzept wird veranschaulicht, wie in weiterer Folge der Prozess weitestgehend automatisiert werden könnte.

## **ABSTRACT**

To shape workpieces with different reshaping-technologies has always been a part of technological processes. This present scientific work deals with the development of a specific tool for straightening wire nails and additionally the designing of a prototype. Especially, the process from a work fully done by hand to the automated operation is the main focus of the investigations. The straightening of bent metal nails is the definite challenge. The preceding theoretical examination deals with substantial part aspects of the automation of work processes in general. In particular, the separation of wire nails, the straightening process itself and the wrapping of wire nails are discussed. Initially, the main aim is to work out the theoretical basic knowledge for the succeeding development of a straightening-tool. Based on these recognitions different possibilities of tool-constructions are examined. The most appropriate method to straighten the wire nails is examined in an extensive test series. To realize that, a prototype has been developed which enables the exact examination of the straightening process. Due to that the construction of an ideal shaping-tool is given. In further consequence, the resulting straightening-tool constitutes the basis to develop a concept. This concept of an automatic wire nail straightening-machine shows in which way the process could be automated as far as possible.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
2	Aufgabenstellung und Zielsetzung .....	2
2.1	Zu richtende Drahtstifte .....	2
2.2	Wissenschaftliche Methodik .....	3
3	Stand der Technik .....	4
3.1	Vereinzelungs- und Zuführtechnik .....	4
3.1.1	Werkstückmerkmale .....	4
3.1.2	Vibrationsfördertechnik .....	5
3.2	Umformtechnik.....	10
3.2.1	Definition und Einteilung der Verfahren .....	10
3.2.2	Werkstoffverhalten .....	11
3.2.3	Richten.....	14
3.2.4	Drahtziehen.....	23
3.3	Verpackungstechnik .....	25
3.3.1	Maschinelle Verpackungstechnik .....	25
4	Lösungskonzepte zur Vereinzelung, Zuführung und Verpackung .....	28
4.1	Bereits durchgeführte Versuche .....	28
4.2	Beförderung, Vereinzelung und Zuführung .....	29
4.3	Stückgutzzählung .....	30
4.4	Verpackungsmöglichkeit.....	31
5	Entwicklung des Prototyps .....	33
5.1	Erste Versuche .....	33
5.1.1	Drahtstiftaufnahme .....	33
5.1.2	Matrizenrichten .....	34
5.1.3	Walzrichten .....	36
5.1.4	Matrizenrichten mit Walzrollengeometrie .....	38
5.2	Prototyp.....	41
5.2.1	Deckplatte mit Nietstiftaufnahme .....	41
5.2.2	Richtwerkzeuge .....	43
5.2.3	Richtschlitten und Werkzeugaufnahme .....	44
5.2.4	Linearführung.....	47
5.2.5	Der komplette Prototyp .....	48
5.3	Durchführen der Richtversuche .....	49
5.3.1	Randbedingungen der Versuchsreihe .....	50
5.3.2	Die unterschiedlichen Nietstiftgeometrien .....	51
5.3.3	Bewertung der Richtergebnisse.....	52
5.3.4	Ergebnisse .....	54
6	Konzeptionierung einer automatischen Drahtstift-Richtmaschine .....	61
6.1	Randbedingungen für das Konzept .....	61

6.2	Richteinheit .....	61
6.2.1	Schlitten .....	62
6.2.2	Positioniertisch .....	62
6.2.3	Richtwerkzeug .....	63
6.3	Hubtisch .....	65
6.3.1	Tischantrieb .....	65
6.3.2	Werkzeugplatte mit Richteinheiten .....	66
6.4	Nietstiftaufnahme-Einheit.....	67
6.4.1	Nietstiftaufnahme .....	67
6.4.2	Abstreifer und Befestigungsplatte.....	68
6.5	Grundrahmen.....	69
6.6	Auffangbehälter.....	69
6.7	Maschinenlayout.....	70
7	Fazit und Ausblick .....	72
	Literaturverzeichnis .....	73
	Abbildungsverzeichnis.....	74
	Tabellenverzeichnis.....	78
	Anhang .....	79

## 1 EINLEITUNG

Seit vielen Jahrzehnten sind die Steigerung der Produktivität sowie die Verbesserung der jeweiligen Arbeitsbedingungen Antrieb für die Entwicklung neuer Maschinen. Damit verbunden sind oftmals viele weitere positive Aspekte, wie die Steigerung der Produktqualität, geringere Umweltbelastung oder die Sicherheit am Arbeitsplatz. Nicht selten ist auch die bloße Notwendigkeit zur Weiterentwicklung aus unternehmerischer Sicht, die Initialzündung für neue Herausforderungen, denen es sich zu stellen gilt. Letzteres trifft auch für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit zu, in welcher ausführlich die Entwicklung eines Verfahrens zum Richten von Drahtstiften thematisiert wird.

Das Unternehmen perlenundmehr.at widmet sich seit dem Jahr 2012 dem Online-Handel unterschiedlichster Handarbeitsprodukte und bietet mittlerweile mehr als 1700 verschiedene Artikel an. Einen großen Anteil dieser Waren stellen Nietstifte dar, welche oftmals als Ausgangsbasis für die Herstellung von Modeschmuck dienen. Diese Metallstifte werden in vielfältigen Designs und zwei unterschiedlichen Grundwerkstoffen, nämlich Stahl und Zinklegierung, angeboten. Allen Nietstiften gemein sind jedoch die Anforderungen hinsichtlich der Produktqualität, insbesondere der Einhaltung der Geometrie, welche laufend am Firmensitz einer Qualitätsüberprüfung unterzogen wird. Problematisch ist bei der aus China importierten Ware, dass die Anforderungen an die Geradheit meist nicht erfüllt werden können und somit ein Geraderichten der verbogenen Drahtstifte per Hand erforderlich ist. Der Anteil der zu richtenden Stifte beträgt dabei oftmals mehr als 90% der importierten Ware. Bei einer Stückzahl von ca. 60000 Nietstiften pro Monat und kaum zu findendem Personal für diese Tätigkeit, sind in naher Zukunft aufgrund steigender Nachfrage nach diesen Produkten, Engpässe zu erwarten. Aufgrund der äußerst günstigen Konditionen für die Nietstifte bei entsprechender Menge ist der Bezug aus anderen Quellen derzeit keine Option.<sup>1</sup>

Die Tatsache, dass das Unternehmen perlenundmehr.at auch als Drittanbieter bei Amazon gelistet ist, erschwert die Situation zusätzlich. Schon bei kurzer Nichtverfügbarkeit von einzelnen Produkten reiht der Algorithmus von Amazon den Händler automatisch nach hinten, um den Amazon-Kundinnen und Kunden möglichst nur verfügbare Produkte anzuzeigen. Die Konsequenz aus diesem Umstand besteht in einem dramatischen Rückgang der verkauften Produkte, wenn nicht geliefert werden kann, da sich vor allem die vorgeschlagenen Produkte auf den ersten Seiten gut verkaufen. Das Ausliefern von nicht einwandfreier Ware kann außerdem zu schlechten Kundenbewertungen und letztlich zu einer schlechten Reputation führen.

---

<sup>1</sup> Vgl. Jug (2017).

## 2 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Grundsätzlich setzt sich die Aufgabenstellung dieser Arbeit aus drei unterschiedlichen Teilbereichen zusammen. Um Lösungsansätze für die in der Einleitung bereits dargestellte Problemstellung formulieren zu können, gilt es sich dem gesamten Arbeitsprozess zu widmen. Bei näherer Betrachtung kann festgestellt werden, dass erstens das Entwirren und Vereinzeln sowie zweitens das Zuführen und Richten und schließlich drittens das Verpacken von Drahtstiften in größeren Mengen diese drei Teilbereiche vollständig abdecken. Um dem Umfang dieser Arbeit gerecht zu werden, wird jedoch der Fokus auf jenem Bereich liegen, der die höchste Priorität aufweist, also dem Richten der Drahtstifte. Zumindest im theoretischen Teil der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit sollen aber alle Arbeitsschritte Platz finden. Der praktische Teil widmet sich aus wissenschaftlicher Notwendigkeit aber hauptsächlich dem Richtprozess.

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit besteht darin ein geeignetes Richtwerkzeug zu entwickeln, das es erlaubt die mangelhaften Stifte so zu richten, dass sie den gesetzten Anforderungen entsprechen. Wie diese Anforderungen aussehen, wird in Abschnitt 5.3.3 erläutert. Auf Basis dieses Richtwerkzeuges gilt es anschließend einen Prototyp zu konstruieren, der diesen Arbeitsschritt weitgehend selbstständig durchführt. Die einwandfreie Funktionstüchtigkeit sowie ein einfaches Design und damit verbundene vergleichsweise geringe Kosten sind hier essentielle Anforderungen. Die Lösung von Teilaufgaben mit Hilfe eines Industrieroboters ist allein aufgrund der hohen Anschaffungskosten nicht anzustreben und kann vorweg ausgeschlossen werden.

Ein wichtiger Bestandteil ist es außerdem, Wege und Möglichkeiten aufzuzeigen wie der gesamte Verarbeitungsprozess zukünftig realisiert werden könnte. Die Grundlagen dafür werden in Kapitel 3 theoretisch erörtert und im darauffolgenden Kapitel werden mögliche Lösungsansätze beschrieben. Diese Ausführungen sollen auch dazu dienen, Weiterentwicklungen des Prototyps leichter realisieren zu können. Schließlich wäre es in Zukunft gewünscht die Beförderung, die Vereinzeln, den Richtvorgang sowie den Verpackungsprozess vollautomatisiert ablaufen zu lassen.

### 2.1 Zu richtende Drahtstifte

Die Abmessungen der unterschiedlichen Nietstifte bewegen sich von einem Durchmesser von 0,4 mm bis hin zu einem Durchmesser von 0,8 mm und einer Länge von maximal 80 mm und minimal 30 mm. Zusätzlich verfügen die unterschiedlichen Fabrikate noch jeweils über verschiedene Nietkopfgeometrien. Die äußerst filigrane Bauweise der zu bearbeitenden Stifte in Kombination mit den unterschiedlichsten Geometrien stellt eine der größten Herausforderungen für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit dar. Daraus ergeben sich besondere Anforderungen bei der Handhabung der zu manipulierenden und zu verarbeitenden Teile.

Die Werkstoffe der Drahtstifte werden seitens des Unternehmens als Stahl und Zinklegierungen beschrieben, welche über eine unterschiedliche Duktilität verfügen. Zusätzlich sind diese noch, abhängig vom Typ, mit Silberbeschichtungen ummantelt, wodurch ein besonders schonender Richtprozess notwendig wird, damit die Oberflächen der Stifte keinesfalls Beschädigungen nach dem Richten

aufweisen. Aufgrund des Bezuges der Ware aus China können keine weiteren Angaben hinsichtlich der genauen chemischen Zusammensetzung gemacht werden.

In Abb. 1 sind unterschiedliche Geometrien der Drahtstifte dargestellt. Abgebildet sind jeweils der Soll- und der Ist-Zustand, um zu verdeutlichen, mit welchen unterschiedlichen Geometrien die Verarbeitung erfolgen muss. Auf der jeweils linken Seite sind die Nietstifte abgebildet, wie sie den Anforderungen entsprechen. Im Vergleich dazu ist auf der jeweiligen rechten Seite ein verbogenes Pendant zu sehen, welches eine typische Geometrieabweichung aufweist.

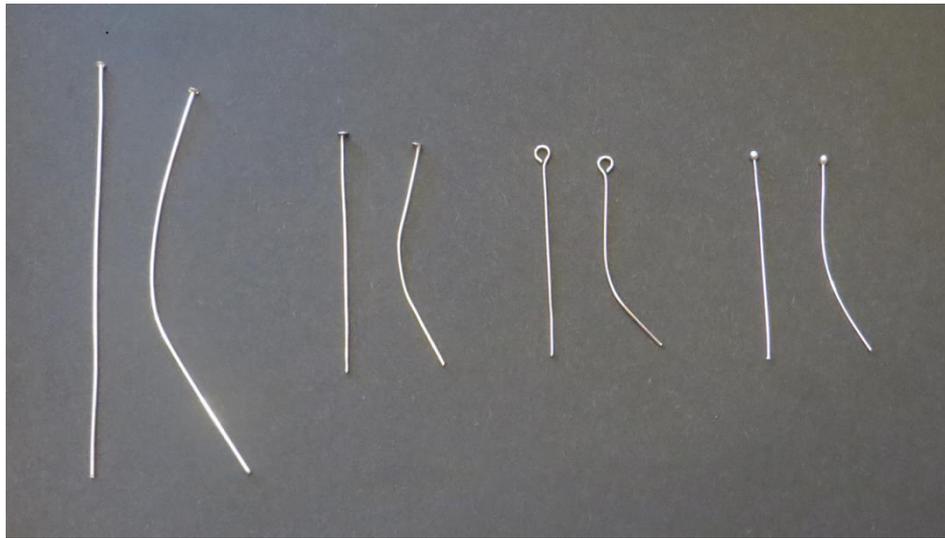


Abb. 1: Unterschiedliche Nietstiftfabrikate im Soll- und Ist-Zustand, Quelle: Eigene Darstellung.

Die divergierenden Geometrien zeigen außerdem, dass es ein Maschinenkonzept zu entwerfen gilt, welches die Verarbeitung aller unterschiedlichen Nietstifte erlaubt. Es sollen dabei notwendige Rüstarbeiten so gering wie möglich ausfallen, um rasch das Richten unterschiedlicher Fabrikate zu ermöglichen.

## 2.2 Wissenschaftliche Methodik

Die wissenschaftliche Untersuchung des Richtprozesses im praktischen Teil der Arbeit verläuft in mehreren Stufen. Es wird in Kapitel 5 die Entwicklung zur Analyse des Richtvorganges genau beschrieben und die daraus gewonnenen Erkenntnisse dargelegt. Die verschiedenen sich auswirkenden Parameter auf Werkstoffe bei Umformprozessen werden in Abschnitt 3.2.2 näher beschrieben. Die theoretischen Grundlagen werden dort genau veranschaulicht und dienen in weiterer Folge dazu, die Richtaufgabe bestmöglich zu lösen. Das Unterkapitel 3.2 dient als Anregung und Basis für die Richtwerkzeug-Konstruktion.

Alle wesentlichen Einflüsse werden soweit als möglich bei den unterschiedlichen Versuchsanordnungen berücksichtigt, um diese schlussendlich bestmöglich beurteilen zu können. Mit Hilfe einer Bewertungsmatrix welche die unterschiedlichen Versuchsreihen zusammenfasst wird schlussendlich jener Richtprozess aufgezeigt, der die besten Ergebnisse liefert. Ausgehend von dieser Auswahl wird ein Prototyp entwickelt, welcher den Richtvorgang selbstständig ausführt. Als Software zur Konstruktion der Richtwerkzeuge sowie des Prototyps wird dabei SolidWorks® 2017 eingesetzt.

### **3 STAND DER TECHNIK**

Der nachfolgende Abschnitt widmet sich den theoretischen Aspekten dieser wissenschaftlichen Arbeit: Der Betrachtung der unterschiedlichen Teilgebiete des Gesamtprozesses soll ausreichend Raum gegeben werden, um damit die theoretische Basis für die Entwicklung des Prototyps zu erarbeiten. Die Strukturierung folgt hierbei dem Arbeitsablauf der Aufgabenstellung. Es werden zunächst die Vereinzelungs- und Zuführtechnik untersucht und mehrere Systeme vorgestellt. Der zweite große Teil beschäftigt sich mit Umformtechniken, wobei der Fokus der Betrachtung auf jenen liegt, die für die Entwicklung des Prototyps anwendbar sind. Das Richten von Bauteilen ist das zentrale Thema dieses Unterkapitels und von größter Bedeutung für den praktischen Teil dieser Arbeit, da bereits existierende Technologien als Wegweiser für die Entwicklung dienen. Abschließend werden unterschiedliche Möglichkeiten zur Verpackung von Kleinteilen vorgestellt, um theoretisch zu beleuchten, wie die automatische Drahtstift-Richtmaschine in Zukunft zusätzlich um diese Aufgaben erweitert werden könnte.

#### **3.1 Vereinzelungs- und Zuführtechnik**

Bei der Vereinzelungs- und Zuführtechnik handelt es sich im Wesentlichen um zwei direkt miteinander in Verbindung stehende Bereiche, um einen Materialfluss zu bewirken. Der Verein Deutscher Ingenieure beschreibt diese Techniken unter Fördern und Handhaben. In einer hochautomatisierten Welt wie heute, ist es unabdinglich zu versuchen, jene Tätigkeiten automatisch ablaufen zu lassen, welche von Menschen entweder nur mit unzureichender Geschwindigkeit, geringer Genauigkeit oder nicht dauerhaft durchgeführt werden können. Weitere Gründe für eine automatische Werkstückhandhabung sind die nicht zulässigen Manipulationen von Werkstücken aufgrund von Kontamination oder Radioaktivität sowie extremen Abmessungen von zu bewegenden Teilen, welche somit händisch nicht mehr manipuliert werden können oder dürfen.<sup>2</sup>

##### **3.1.1 Werkstückmerkmale**

Von großer Bedeutung für die Handhabungstechnik sind die unterschiedlichen Werkstückmerkmale hinsichtlich der Geometrie der zu bewegenden Bauteile. Diese sind ausschlaggebend für den Schwierigkeitsgrad der Handhabung. Wirrteile sind naturgemäß ungleich aufwendiger zu Vereinzeln und Zuzuführen als einfache geometrische Formen wie Würfel, da sich Wirrteile während des Förderungsprozesses immer wieder zu Knäuel verhaken und somit schwer einzeln zuführbar sind. Eine zumindest annähernde geometrische Bestimmtheit ist Voraussetzung für das automatische Bewegen von Bauteilen, wobei hier je nach Bauteil auch ein gewisser Bauteilabschnitt geometrisch bestimmt sein kann. Je unterschiedlicher die Werkstücke hinsichtlich ihrer Formgebung sind, desto schwieriger ist es diese auch zu manipulieren. Neben den geometrischen Eigenschaften ist auch die Festigkeit der Werkstücke als Einflussfaktor zu beachten. Besonders weiche und empfindliche Teile erschweren die Handhabung

---

<sup>2</sup> Vgl. Hesse (2013), S. 12 ff.

erheblich, da sie entweder unter Krafteinwirkung leicht nachgeben und ihre Form verändern oder nur mit geringsten Kräften beaufschlagt werden dürfen, weil sie ansonsten zerstört werden.<sup>3</sup>

Stefan Hesse beschreibt in seinem Buch „Grundlagen der Handhabungstechnik“ den Begriff Werkstückverhalten wie folgt:

„Es ist die Summe der aufeinander folgenden Zustände eines oder mehrerer Werkstücke im Verband, hervorgerufen durch äußere Kräfte, wobei Werkstückeigenschaften und Werkstückverteilung entscheidend mit einwirken. Man unterscheidet zwischen Ruhe- (Standicherheit, Lagestabilität) und Bewegungsverhalten (Gleit-, Roll-, Hängefähigkeit, Richtungsstabilität beim Gleiten oder Rollen) und Verhalten im Haufwerk (Verhakungsneigung) u.a.“<sup>4</sup>

Es gilt dem Werkstückverhalten nicht nur Herr zu werden, sondern es bestenfalls auch für die eigenen Zwecke zu nutzen. Es ist abhängig von den Randbedingungen somit möglich, aufgrund der Werkstückgeometrie eine Eigenpositionierung des Werkstückes zu erzwingen, wengleich in mehr als 60 % der Fälle eine Selbstpositionierung nicht erreicht werden kann.<sup>5</sup> Dies führt in weiterer Folge zu einer erschwerten Automatisierbarkeit und steigert den Aufwand unter Umständen erheblich, da eine gesicherte Position erst durch Werkzeuge zum Beispiel, erzwungen werden muss.

Neben vielen möglichen Werkstückeigenschaften soll hier die Hängefähigkeit, aufgrund der Wichtigkeit für diese Arbeit hervorgehoben werden. In Kapitel 4 wird dies bei der Veranschaulichung einer Lösungsmöglichkeit zur automatischen Zuführung der Stifte beispielhaft deutlich gemacht. Es handelt sich hierbei um eine Eigenschaft, die häufig beim selbstständigen Zuführen ausgenutzt wird. Grundsätzlich sind alle pilzförmigen und gabelförmigen Werkstücke sowie teilweise Werkstücke mit Öffnungen hängefähig. Je nach Geometrie können die Bauteile über Doppelschienen, Monoschienen oder mittels Haken transportiert werden. Wichtig ist es jedoch, dass die zu befördernden Werkstücke zusätzlich zu ihrer Form auch einen für die Beförderung optimalen Schwerpunkt aufweisen. Dieser sollte möglichst im unteren Bereich des hängenden Werkstückes liegen, sich also soweit wie möglich von der Stützstelle entfernt befinden.<sup>6</sup>

### **3.1.2 Vibrationsfördertechnik**

Um entsprechende Teile transportieren zu können gibt es naturgemäß viele Möglichkeiten. Da für diese Arbeit nicht nur der Transport der Einzelteile, sondern auch die exakte Ausrichtung sowie die Vereinzelung eine wesentliche Rolle spielen, stellen Vibrationsförderer, oftmals auch Schwingförderer genannt, ein probates Mittel dar, um den bereits im letzten Abschnitt formulierten Ansprüchen Genüge zu tun.

Die Vibrationsfördertechnik ist in den umfassenderen Bereich der Stetigfördertechnik einzuordnen und stellt hier ein Spezialgebiet dar, weil es sich Vibrationen zu Nutze macht um Fördergut zu bewegen.

---

<sup>3</sup> Hesse (2013), S. 33 ff.

<sup>4</sup> Vgl. Hesse (2013), S. 47.

<sup>5</sup> Vgl. Hesse (2013), S. 47 f.

<sup>6</sup> Vgl. Hesse (2013), S. 69 f.

Grundsätzlich wird zwischen der Beförderung von Schüttgut und Stückgut unterschieden, wenngleich sich diese überschneiden und letztlich nicht genau abgegrenzt werden können. Bei ersterem wird in aller Regel vor allem auf die Beförderung, unabhängig von der Lage des Gutes Wert gelegt, wohingegen bei letzterem auch die Positionierung und Trennung der einzelnen Teile eine große Rolle spielen. Verglichen mit anderen Fördersystemen, welche nicht auf Vibrationen zur Fortbewegung setzen, werden oftmals nur geringe Distanzen überwunden, da vor allem Prozesse wie das Klassieren, Trocknen, Vereinzeln und Positionieren von Gütern im Vordergrund stehen. Als Grundlage für die Beförderung von Gütern mittels Vibrationstechnik gelten mechanische Schwingungen, welche in der Regel nicht gewollte Begleiterscheinungen im Bereich des Maschinenbaus darstellen. Genau jene Schwingungen sind es jedoch, die sich entsprechende Fördersysteme zu Nutze machen, um Güter fortzubewegen.<sup>7</sup>

Bezüglich des Aufbaus unterscheidet man zwischen unterschiedlichen Formen von Schwingförderern, wobei später noch genauer auf den Linearschwingförderer, den Wendelschwingförderer und den Flächenschwingförderer eingegangen wird. Die Funktionsweise von Vibrationsförderanlagen ist unabhängig von der Bauweise im Allgemeinen dieselbe, auch wenn es geringfügige Unterschiede gibt. Das wesentlichste Merkmal ist ein schwing- oder pendelfähiges System, wie Abb. 2 zeigt. Das zu befördernde Gut wird durch dieses System mit Hilfe von periodischen Schwingbewegungen befördert, wobei das Stück- oder Schüttgut Beschleunigungskräften ausgesetzt wird. Bewegt sich also das System in eine Richtung werden die Fördergüter ebenfalls in diese Richtung gedrängt. Bei der Rückwärtsbewegung des Systems wird von den zu bewegenden Teilen die ursprüngliche Richtung aufgrund ihrer Massenträgheit beibehalten. Die Bewegung der Förderteile ist bei diesem Prozess von vielen unterschiedlichen Faktoren wie etwa Masse und Form der zu bewegenden Teile sowie vom Reibungskoeffizienten zwischen ebendiesen und der Fördertechnik an sich abhängig.<sup>8</sup> Die Fortbewegung wird mittels Frequenz, Schwingweite und dem Förderwinkel beeinflusst und kann oftmals an den Maschinen in einem gewissen Bereich eingestellt werden.

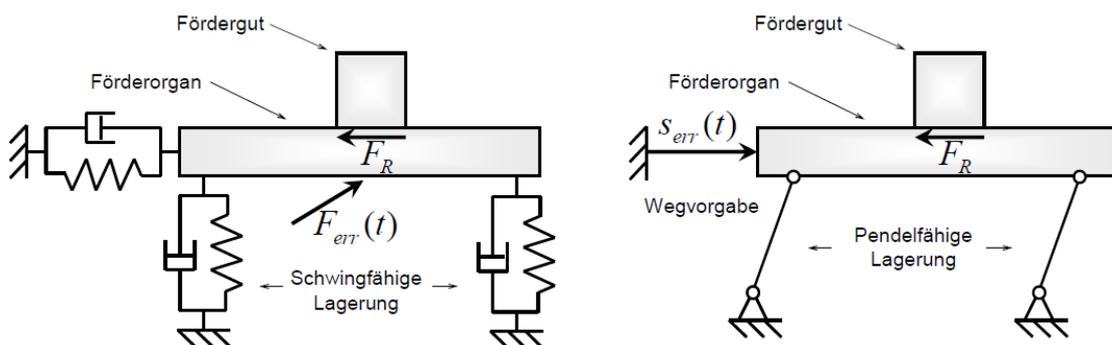


Abb. 2: Schematische Darstellung von schwing- oder pendelfähigen Systemen, Quelle: Risch (2011) S. 5.

Neben dem grundsätzlichen Aufbau unterschiedlicher Schwingfördersysteme, werden grundsätzlich zwei Fördermechanismen unterschieden. Die meisten Vibrationsförderer bedienen sich bei der Bewegung des Gutes des Mikrowurfprinzips. Hierbei werden auf das Fördergut derart große horizontale wie auch

<sup>7</sup> Vgl. vibrationsfoerdertechnik.de (2009), Onlinequelle [19.04.2017].

<sup>8</sup> Vgl. Risch (2011), S. 5.

vertikale Kräfte aufgebracht, dass diese geringfügig abheben und sich in eine vorgegebene Richtung bewegen. Wie bereits ausgeführt resultiert die Fortbewegung aus der Massenträgheit des Stück- bzw. Schüttgutes. Sie bewirkt, dass sich das Material weiter in die vorgesehene Richtung bewegt, wenngleich sich das Förderorgan in die entgegengesetzte Richtung bewegt. Der Vorteil des Mikrowurfprinzips liegt vor allem in der vergleichsweise hohen Fördergeschwindigkeit, da sich die Reibungsverluste auf den Kontakt während des erneuten Impulses auf das Fördergut beschränken.<sup>9</sup>

Dem gegenüber steht als zweiter Fördermechanismus das sogenannte Gleitprinzip, welches sich durch einen ständigen Kontakt zwischen den zu transportierenden Gütern und dem Fördersystem auszeichnet. Die Pendel- oder Schwingbewegungen dürfen aufgrund dessen nur einen eingeschränkten Betrag aufweisen, da ansonsten das Fördergut abheben würde. Somit ergeben sich geringere Fördergeschwindigkeiten, wobei dieses System zumindest den Vorteil eines geringeren Geräuschpegels aufweist. Auch der Verschleiß an Fördersystem und Fördergut ist geringer, da die entsprechende Aufprallenergie – wie sie beim Mikrowurfprinzip immer gegeben ist – entfällt.<sup>10</sup> Beiden Prinzipien gemein ist jedoch, neben der Förderung des Gutes, auch die Möglichkeit der Vereinzelnung und Entwirrung. Diese ist jedoch darüber hinaus von anderen Parametern wie den entsprechenden Werkstückmerkmalen abhängig, wie in Abschnitt 3.1.1 bereits erörtert wurde.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt bei der Entwicklung und Konstruktion von Schwingförderern, sind die unterschiedlichen Antriebsmöglichkeiten. In der Vibrationsfördertechnik kann zwischen wegerregten, stützerregten und krafterregten Antrieben unterschieden werden, wobei je nach Antriebsart die möglichen Frequenzbereiche und Erregerkräfte variieren. Je nach Anwendungsfall können somit Frequenzen von 5 Hz bis 200 Hz abgedeckt werden. Grundsätzlich gilt, dass kleinere zu bewegende Bauteile eher einer höher-frequenten Beförderung bedürfen, wohingegen grobes Schüttgut meist im unteren Frequenzbereich aber mit höherer Erregerkraft bewegt wird. Ein gutes Beispiel für einen wegerregten Antrieb ist der Schubkurbelantrieb, der aus dem Verbrennungsmotorbereich bekannt ist. Auch die Vibrationserzeugung mittels piezoelektrischer Aktoren ist seit wenigen Jahren eine etablierte Möglichkeit die geforderten Verhältnisse zu schaffen. Der Erreger ist somit immer direkt mit dem Förderteil verbunden, wodurch sich vor allem hinsichtlich der Haltbarkeit und des Verschleißes entsprechende Herausforderungen ergeben. Im Gegensatz dazu arbeiten stützerregende Antriebe mit einer zwischengeschalteten Federeinheit, wodurch sich solche Probleme weniger stark auswirken. Damit einher geht natürlich auch ein verändertes Schwingverhalten des gesamten Systems. Krafterregende Antriebe wiederum arbeiten entweder mit angetriebenen Exzentermassen oder der elektromagnetischen Kraftfeldwirkung. Bei ersterem werden Exzenter in Rotation versetzt wodurch sich Schwingungen ergeben, welche auf das System übertragen werden. Bei letzterem werden Erregermassen mittels Elektromagneten in Schwingung versetzt, wodurch das System in Vibration versetzt wird.<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> Vgl. Risch (2011), S. 11 f.

<sup>10</sup> Vgl. Risch (2011), S. 11.

<sup>11</sup> Vgl. Risch (2011), S. 8 f.

### 3.1.2.1 Linearschwingförderer

Bei Linearschwingförderern wird das zu transportierende Stückgut meist in horizontaler Ebene befördert, aber auch Steigungen von bis zu  $10^\circ$  bei günstigen Reibungsverhältnissen oder ein beliebiges Gefälle sind überwindbar. Die entsprechende Förderebenen-Geometrie ist je nach dem Fördergut zu realisieren. In Bezug auf die konkrete Aufgabenstellung dieser Arbeit bietet sich ein zweigeteiltes System an: Zunächst werden die Drahtstifte auf einem Band in gewünschte Richtung transportiert. Anschließend werden sie mittels einer nach unten geöffneten Rinne in vertikale Position gebracht um sie dem Richtprozess entsprechend zuführen zu können.<sup>12</sup> Abbildung 3 zeigt die schematische Darstellung eines Linearschwingförderers.

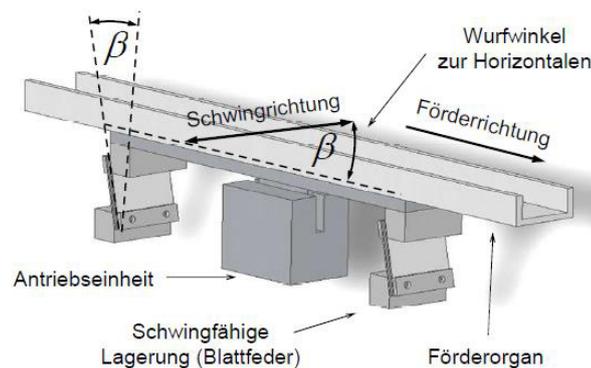


Abb. 3: Schematische Darstellung eines linearen Vibrationsförderers, Quelle: Risch (2011), S.7, leicht modifiziert.

### 3.1.2.2 Wendelschwingförderer

Dient der Linearschwingförderer in erster Linie der Beförderung in horizontaler Ebene, stellt der Wendelschwingförderer vor allem die Beförderung von Einzelteilen in der Vertikalen in den Vordergrund. In Abb. 4 ist der prinzipielle Aufbau ersichtlich, der auch verdeutlicht wie das Fördergut nach oben befördert werden kann. Am Rand der topfförmigen Fördereinheit befindet sich eine Förderspirale, an der die zu befördernden Teile durch die entsprechenden Vibrationen entlangbefördert werden.

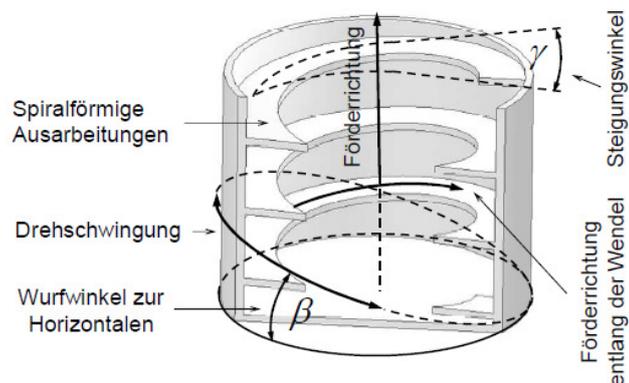


Abb. 4: Schematische Darstellung eines Wendelschwingförderers. Quelle: Risch (2011), S. 7, leicht modifiziert.

<sup>12</sup> Vgl. Risch (2011), S. 6.

Die maximale Steigung ist ident mit der Maximalsteigung bei Linearschwingförderern und liegt somit ebenfalls bei  $10^\circ$ . Aufgrund der charakteristischen Steigung bei diesem Förderprinzip liegt der Mechanismus immer dem Wurfprinzip zu Grunde.<sup>13</sup>

### 3.1.2.3 Flächenschwingförderer

Die letzte wichtige Bauart innerhalb der Vibrationsförderer ist der Flächenschwingförderer, der sich dadurch auszeichnet ohne jegliche horizontale Krafteinwirkung das Fördergut in die gewünschte Richtung befördern zu können. Wie Abb. 5 zeigt, ist die Förderfläche mit Fasern oder Borsten überzogen, die entsprechend ihrer Verlaufsrichtung dem Fördergut die Richtung vorgeben. Es wird somit zusätzlich verhindert, dass das Stückgut entgegen der Faserrichtung rutscht. Die Förderrichtung wird somit alleinig durch die Anordnung der Fasern am Vibrationsförderer bestimmt. Diese kann derart umgesetzt sein, dass sie unterschiedliche Richtungen innerhalb eines Fördersegments vorsieht.<sup>14</sup>

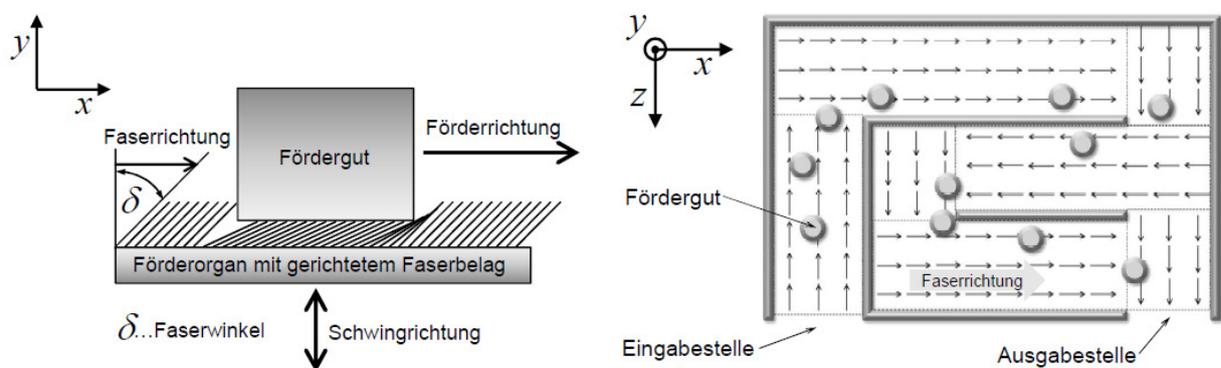


Abb. 5: Schematische Darstellung eines Flächenschwingförderers. Quelle: Risch (2011), S. 7.

Ein weiterer Vorteil neben der sehr variablen Förderrichtungssteuerung ist die Tatsache, dass das zu befördernde Material aufgrund der Fasern einen nur sehr geringen Geräuschpegel entwickelt. Weiters eignet sich dieses Konzept auch für das Befördern von sehr leicht zerstörbaren Gütern. Nachteilig ist hier die eingeschränkte Verwendbarkeit, abhängig von der Werkstückgeometrie sowie der erhöhte Wartungsaufwand, da die verwendeten Fasermatten sich je nach Anwendung unterschiedlich schnell abnutzen und somit die gewünschte Beförderung nicht mehr gegeben ist.<sup>15</sup>

Für die Umsetzung einer automatischen Zuführung der Drahtstifte gibt es sicherlich viele Möglichkeiten, wie teilweise schon in Unterkapitel 3.1 gezeigt wurde. Vor allem die sehr unterschiedlichen geometrischen Formen, aufgrund der Tatsache dass die Stifte unterschiedlich verbogen wurden, dürfte wohl die größte Herausforderung darstellen, die Stifte zu vereinzeln und dem Richtprozess adäquat zuzuführen. Kapitel 4 schließt an diese Fragestellung an und wird im Rahmen eines allgemeinen Konzepts eine Möglichkeit aufzeigen, die Drahtstifte zu entwirren, zu vereinzeln und dem Richtwerkzeug zuzuführen.

<sup>13</sup> Vgl. vibrationsfoerdertechnik.de (2009), Onlinequelle [24.04.2017].

<sup>14</sup> Vgl. Risch (2011), S. 7 f.

<sup>15</sup> Vgl. Risch (2011), S. 7 f.

## 3.2 Umformtechnik

Als wesentlicher Teil des praktischen Teils in dieser Arbeit kommt der Umformtechnik eine besondere Bedeutung zu. Der Fokus in diesem Unterkapitel liegt darauf unterschiedliche Möglichkeiten des Umformens im Allgemeinen und des Richtens im Speziellen aufzuzeigen. Diese Darstellung dient als theoretische Grundlage für das Erreichen der praktischen Zielsetzung dieser Arbeit, weshalb vor allem dem Unterkapitel 3.2.3 entsprechend viel Platz eingeräumt wird, da alle unterschiedlichen sich auswirkenden Aspekte hinsichtlich des Richtens genau beschrieben werden sollen. Außerdem werden zusätzlich die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften von Werkstoffen, welche sich auf das Umformen auswirken, beschrieben.

### 3.2.1 Definition und Einteilung der Verfahren

Unter dem Begriff Umformtechnik versteht man nach DIN 8580 das Verändern der Form eines festen Körpers, wobei der Stoffzusammenhalt, im Gegensatz zu anderen Verfahren, beibehalten und somit die Masse des Körpers nicht verändert wird. Grundsätzlich wird noch weiter zwischen Umformen und Verformen unterschieden. Von einem Umformprozess wird dann gesprochen, wenn die Änderung der Form durch die Beherrschung der Werkzeuggeometrie herbeigeführt wird, wie dies bei Umformvorgängen wie dem Tiefziehen, Fließpressen oder Walzen der Fall ist. Im Gegensatz dazu spricht man von Verformung wenn die plastische Formgebung ohne Beherrschung der Geometrie, wie beispielsweise beim Schmieden von Hand, durchgeführt wird. Zusätzlich differenziert man noch die Begriffe Blechumformen und Massivumformen, wobei bei letzterem im Gegensatz zum Blechumformen der Körper in allen drei Raumrichtungen verändert wird.<sup>16</sup>

Schlussendlich kann innerhalb der Umformverfahren eine weitere Einteilung erfolgen, die sich nach den auftretenden Verarbeitungstemperaturen richtet. Hierbei wird zwischen Kaltumformen bis zu einer Temperatur von 650 °C, dem Halbwarmumformen bei einer Temperatur von 650 °C bis 900 °C und dem Warmumformen bei über 1000 °C unterschieden. Wichtig ist es die Tatsache zu erwähnen, dass sich die angegebenen Temperaturen auf die Verarbeitung von Stahl beziehen. Beim Umformen anderer Werkstoffe gelten bezüglich der unterschiedlichen Temperaturen selbstverständlich andere Werte. Ein Kennzeichen das allen Umformtechniken gemein ist, ist die Tatsache, dass der formverändernde Prozess meist mehreren Stufen unterliegt, welche als Stadienfolgen bezeichnet werden.<sup>17</sup>

Die Menge an unterschiedlichen Umformverfahren umfasst mehrere größere Gruppen von Fertigungstechnologien, wie in Abb. 6 gezeigt wird. Das Richten von Bauteilen findet hier je nach Art des Richtens unter Zugdruckumformen oder unter Biegeumformen Platz. Im späteren Verlauf dieses Kapitels werden unterschiedliche Umformtechnologien, die ein entsprechendes Potential für die Aufgabenstellung dieser Arbeit zeigen, erläutert.

---

<sup>16</sup> Vgl. Behrens/Doege (2007), S.6.

<sup>17</sup> Vgl. Behrens/Doege (2007), S.7.

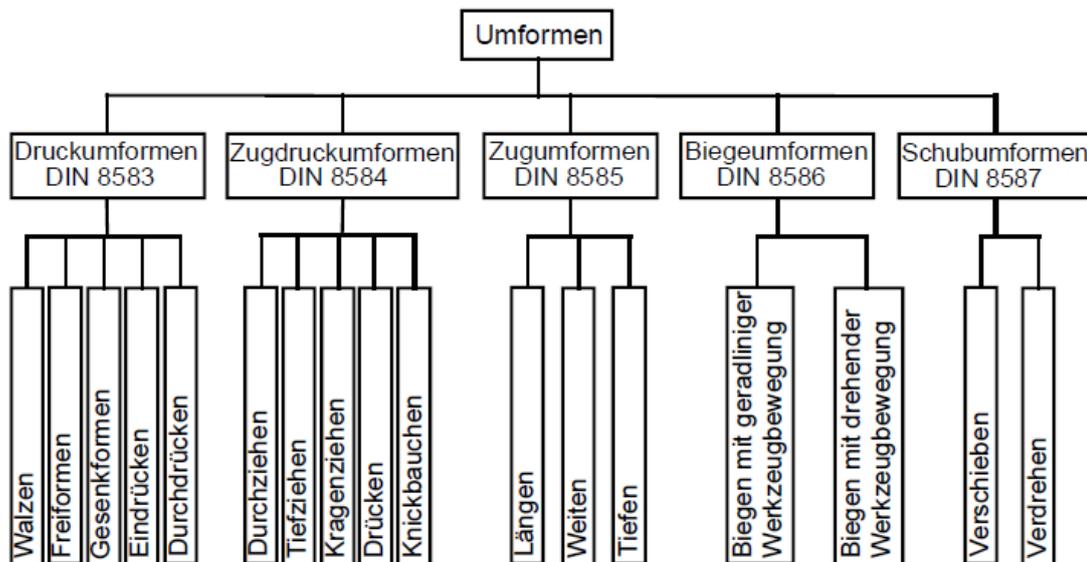


Abb. 6: Gliederung der unterschiedlichen Umformverfahren, Quelle: Behrens/Doege (2007), S. 10.

### 3.2.2 Werkstoffverhalten

Um die Vorgänge beim Umformen von Bauteilen besser verstehen zu können, ist es notwendig sich mit dem grundlegenden Verhalten von Werkstoffen und den notwendigen Eigenschaften formveränderbarer Werkstoffe auseinanderzusetzen. In den folgenden Unterabschnitten sollen die wichtigsten Werkstoffeigenschaften aufgezeigt werden, die für den Umformprozess relevant sind. Es ist dabei nicht notwendig sich mit den grundlegenden Werkstoffstrukturen auf atomarer Ebene zu befassen, da dies für das Vorhaben nur wenig Relevanz hat. Weitere Werkstoffeigenschaften, die mit dem Richten im Speziellen zusammenhängen und anhand dessen auch erklärt werden, sind in Kapitel 3.2.3 beschrieben.

#### 3.2.2.1 Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Die Formveränderung basiert bei einem Umformprozess immer auf dem Einwirken von Kräften auf das zu verändernde Werkstück, wobei hier einerseits eine elastische und andererseits eine plastische Dehnung auftreten. Von einer rein elastischen Deformierung spricht man dann, wenn das unter Kräfteinwirkung stehende Werkstück nach Entfernung der Kräfte vollständig in den Ausgangszustand zurückkehrt. Im Gegensatz dazu bleibt bei einer plastischen Dehnung das Werkstück auch nach Wegnahme der Kraft im deformierten Zustand. Wichtig ist hier noch zu erwähnen, dass sich der Betrag der elastischen Formveränderung nach Wegnahme der Kraft wieder auf null reduziert, da einer plastischen immer eine elastische Formveränderung vorausgeht.<sup>18</sup>

Das Zusammenspiel von reversibler und irreversibler Formänderung unter Einwirkung von Kräften wird standardmäßig mit einem Spannungs-Dehnungs-Diagramm und anhand eines Zugversuches erläutert. In Abb. 7 ist beispielhaft ein solches zu sehen.

<sup>18</sup> Vgl. Klocke/König (2006), S. 6 f.

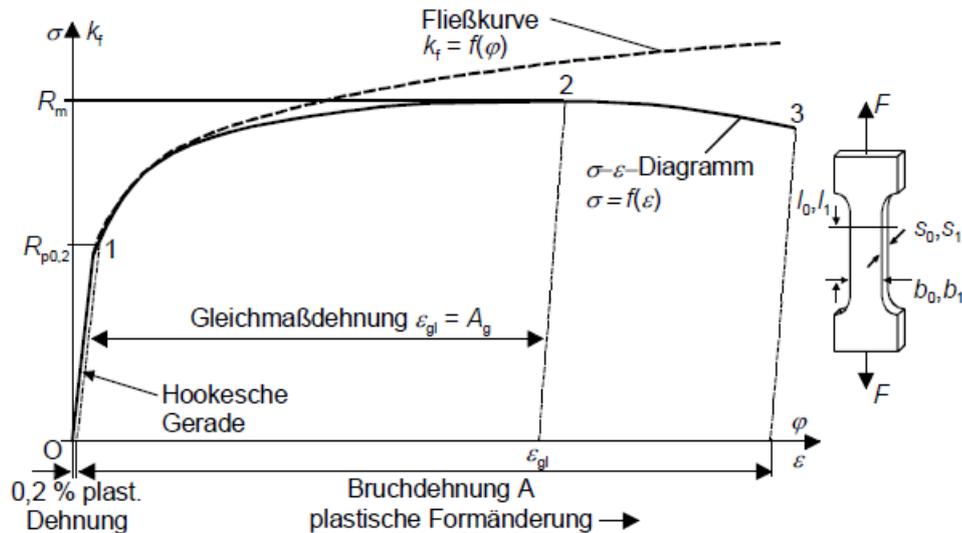


Abb. 7: Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit nicht ausgeprägter Fließgrenze, Quelle: Behrens/Doege (2007), S.13.

Im Bereich 0-1 ist die Hookesche Gerade eingezeichnet, welche den elastischen Bereich eines Werkstoffs zeigt. Es wird somit ersichtlich wie groß die Spannungen sein dürfen, ohne dass sich der Werkstoff dauerhaft verformt. Diese Grenze wird auch als  $R_e$  bezeichnet oder wie in dieser Darstellung als  $R_{p0,2}$ . Diese Bezeichnung wird immer dann gewählt, wenn der Werkstoff keine ausgeprägte Streckgrenze aufweist, also die Abgrenzung des elastischen und des plastischen Bereiches nicht eindeutig ist. Somit wird hier als elastischer Bereich eine Dehnung von 0,2 % angenommen. Bei weiterer Erhöhung der Belastung – im Bereich von 1-2 – kommt der Werkstoff in den Bereich der Gleichmaßdehnung  $\epsilon_{gl}$ . Bei dieser verläuft die plastische Verformung ohne Einschnürung des Werkstückes und zwar bis die Mindestzugfestigkeit  $R_m$  erreicht wird. Dieser Bereich ist von wesentlicher Bedeutung für die plastische Formgebung, wie diese auch bei den notwendigen Richtvorgängen notwendig ist. Geht die Belastung über die Gleichmaßdehnung hinaus, also in den Bereich von 2-3, beginnt sich das Werkstück einzuschnüren, wobei jede weitere irreversible Formänderung nur noch in diesem Bereich stattfindet, bis das Werkstück zerstört wird. Die gesamte Formänderung ergibt schlussendlich die Bruchdehnung  $A$ .<sup>19</sup>

Die ebenfalls markierte Fließkurve beschreibt den Zusammenhang zwischen der Fließspannung und dem Umformgrad. Die Fließspannung wird auch wahre Spannung genannt und bezieht sich, im Gegensatz zur technischen Spannung, immer auf den Momentanquerschnitt des belasteten Bauteils.<sup>20</sup> Es wird also gezeigt welche Kräfte tatsächlich notwendig sind um das Werkstück im Bereich der Bruchdehnung noch weiter zu verformen.

### 3.2.2.2 Duktilität und Festigkeit

Die Umformbarkeit ist generell vom jeweiligen atomaren Werkstoffaufbau abhängig. In weiterer Folge resultieren daraus wichtige Kenngrößen wie Duktilität und Festigkeit des Werkstoffes. Beide Begriffe stehen in direktem Zusammenhang zueinander. Für eine bestmögliche Umformbarkeit sollte ein

<sup>19</sup> Vgl. Behrens/Doege (2007), S.13 f.

<sup>20</sup> Vgl. Behrens/Doege (2007), S.64.

Werkstoff eine größtmögliche Duktilität aufweisen, welche das Maß für die Formveränderbarkeit ist, ohne dass der Werkstoff reißt. Dem gegenüber steht die Festigkeit, welche den Widerstand gegen das Verformen und gegen Bruch beschreibt.<sup>21</sup>

Somit kann zusammenfassend festgehalten werden, dass Werkstoffe mit einer vergleichsweise hohen Festigkeit über eine entsprechend geringere Duktilität verfügen, wobei es diesbezüglich unterschiedliche Werkstoffgruppen getrennt zu betrachten gilt. Diese Aussage kann also immer nur über artähnliche Werkstoffe – zum Beispiel verschiedene Stähle – getroffen werden.<sup>22</sup> Zur Veranschaulichung des Zusammenhangs ist in Abb. 8 der Stahl C45 in unterschiedlichen Behandlungszuständen in einem Spannungs-Dehnungs-Diagramm dargestellt. Es zeigt sich, dass bei Behandlung des Stahls zur Erhöhung der Festigkeit, im Gegenzug die Dehnbarkeit sinkt, also die Formveränderbarkeit abnimmt. Daraus ergibt sich also, dass sich die grundsätzlich gute Umformbarkeit von Stählen durch entsprechende Wärmebehandlungen stark verringern kann.

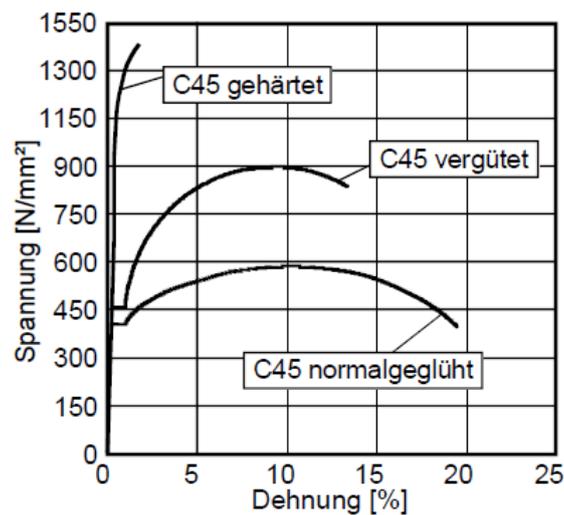


Abb. 8: Werkstoffverhalten des Stahls C45 bei unterschiedlichen Behandlungszuständen, Quelle: Behrens/Doege (2007), S. 16.

Im Gegensatz dazu sind Zink und Zinklegierungen aufgrund ihrer atomaren Struktur und dem hohen elastischen Bereich wesentlich schlechter für Umformprozesse bei Raumtemperatur geeignet. Aufgrund des erheblich geringeren Schmelzpunktes von 419 °C und der damit verbundenen niedrigen Rekristallisationstemperatur kann durch Erwärmen des Werkstoffes dieser Nachteil gegenüber Stahl kompensiert werden.<sup>23</sup>

### 3.2.2.3 Werkstückschädigende Werkstoff- und Prozesseigenschaften

Neben der grundsätzlichen Umformbarkeit von Werkstücken müssen auch die Grenzen ebendieser berücksichtigt werden, um überhaupt feststellen zu können, ob der entsprechend gewünschte Umformvorgang durchführbar ist. Im Wesentlichen hängen diese Grenzen von vier unterschiedlichen Parametern ab, die eine ungewollte Schädigung maßgeblich beeinflussen. Wie bereits erwähnt, haben

<sup>21</sup> Vgl. Behrens/Doege (2007), S.16 f.

<sup>22</sup> Vgl. Behrens/Doege (2007), S.16 ff.

<sup>23</sup> Vgl. Bargel/Schulze (2012), S. 349.

der Werkstoff und dessen kristalliner Aufbau sowie die Art der Wärmebehandlung maßgeblichen Einfluss auf die Grenzen der Umformbarkeit. Vor allem bei Stahl spielt die Zugabe von unterschiedlichen Legierungselementen eine große Rolle, verändern diese doch die Werkstoffeigenschaften teilweise enorm. Die chemische Zusammensetzung ist also ein essentieller Faktor in Bezug auf die Umformbarkeit. Die Werkstücktemperatur ist die zweite maßgebliche Größe, die den Umformprozess beeinflusst. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass das Formveränderungsvermögen steigt, wenn die Werkstücktemperatur erhöht wird, wenngleich es auch hier Ausnahmen gibt, beziehungsweise die Umformbarkeit ab einer bestimmten Temperaturerhöhung – abhängig vom Werkstoff – darunter wieder leidet. Außerdem hat auch die Umformgeschwindigkeit einen nicht unwesentlichen Einfluss auf das Werkstückversagen beim Umformprozess. Für gewöhnlich nimmt die Umformbarkeit bei Erhöhung der Umformgeschwindigkeit ab, wenngleich durch die stärkere Erwärmung des Werkstückes aufgrund der Reibung bei höherer Geschwindigkeit, der erwärmte Werkstoff diesem Prozess in gewissem Ausmaß entgegenwirkt. Abschließend ist die Auswirkung der unterschiedlichen Spannungszustände auf die Umformbarkeit zu nennen. Es spielt für den möglichen Umformgrad eine wesentliche Rolle in welcher Art ein Werkstück belastet wird. Beim Fließpressen herrscht zum Beispiel eine wesentlich größere Umformbarkeit im Vergleich zum Streckziehen. Verantwortlich für diese Differenzen sind die verschiedenen Anteile von unterschiedlichen Spannungszuständen.<sup>24</sup>

### 3.2.3 Richten

Meist ist es im Bereich der verschiedenen Umformverfahren gewünscht den Ausgangswerkstücken eine neue Geometrie zu verleihen. Beim Richten verhält es sich umgekehrt, es gilt somit unerwünschte Krümmungen und Deformationen an Werkstücken zu beseitigen. Der Richtprozess spielt bei den unterschiedlichsten Werkstücken eine Rolle, wie zum Beispiel bei Kurbelwellen, Halbzeugen unterschiedlichster Art oder Drähten um nur wenige zu nennen. Die Ursachen für diese nicht gewünschten Formabweichungen sind vielfältig und reichen von der asymmetrischen Restspannungsbildung über unterschiedliche Abkühlgeschwindigkeiten bei Umformvorgängen, bis hin zu Beschädigungen während des Transports oder bei unsachgemäßer Lagerung. Beim Richtprozess gilt es zu beachten, dass die erste elastisch-plastische Biegung zumindest größer ist als die größte Verformung die am Werkstück vorliegt, da sonst ein vollständiges Richten des Ausgangswerkstückes nicht möglich ist. Es bleibt also bei nicht ausreichender Biegung unausweichlich eine Deformierung zurück. Im Zuge des Richtprozesses wird über mehrfaches Gegenbiegen in geringerem Ausmaß die abweichende Geometrie immer weiter abgebaut, bis das Werkstück innerhalb der geforderten Toleranz gerichtet ist. Auf die genauen Vorgänge wird in Unterabschnitt 3.2.3.1, der sich ausführlich mit dem Walzrichten beschäftigt, detailliert eingegangen. Das Richten einzelner Werkstücke wird oftmals mit Hilfe hydraulischer Pressen bewerkstelligt, die es erlauben das aufgespannte Werkstück entsprechend zu positionieren, um durch den Pressstempel an gewünschter Stelle den Richtvorgang zu vollziehen.<sup>25</sup> In Abb. 9 wird solch eine hydraulische Richtmaschine gezeigt. Die Bedienung erfolgt hier manuell, es wird also der Richtvorgang mit Hilfe eines Bedienhebels ausgeführt.

---

<sup>24</sup> Vgl. Klocke/König (2006), S. 32 f.

<sup>25</sup> Vgl. Lange (1990), S. 294 f.



Abb. 9: Manuell zu bedienende hydraulische Richtmaschine, Quelle: mae-group.com, Onlinequelle [23.09.2017].

Über am Maschinenbett angebrachte Messuhren können eventuelle Abweichungen der Konzentrität ermittelt werden. Die Bedienung des Richtstempels erfolgt zur Gänze händisch, wobei der Stempel nur so weit abwärts fährt, bis dieser einen voreingestellten Hubanschlag erreicht. Dies verhindert, dass Werkstücke zu stark beansprucht werden und beugt Beschädigungen vor.<sup>26</sup>

### 3.2.3.1 Walzrichten

Das Richten von Drähten, Rohren und Blechen wird meist mittels Durchlaufverfahren realisiert, wobei grundsätzlich eine Einteilung in Walzrichten von rotationssymmetrischen und nichtsymmetrischen Werkstücken stattfindet. Das zugrundeliegende Prinzip ist hierbei, dass das Werkstück bei linearem Durchführen mehrere Biegungen durch zueinander versetzt angeordnete Rollen erfährt und somit gerichtet wird. Die Anzahl der zu verwendenden Rollen sowie die unterschiedlichen Achsabstände zueinander variieren hier relativ stark und sind von vielen Parametern abhängig, wie im Verlauf dieses Unterabschnittes noch erläutert wird. Die Teilung der Walzen ist in der Regel konstant, wohingegen der Abstand zwischen dem oberen und dem unteren Walzstuhl variiert werden kann. Die Oberwalzen sind dabei jene, die hinsichtlich des Abstands verstellbar sind. Zusätzlich lässt sich noch der Winkel zwischen den beiden Walzstühlen ändern, um zu erreichen, dass die Krümmung des zu richtenden Walzgutes konstant abnimmt. Bei entsprechend großen Kräften, welche auf besonders große Werkstücke zurückzuführen sind, werden noch zusätzlich Stützwalzen in den Walzstühlen verbaut, um eine Durchbiegung möglichst gering zu halten.<sup>27</sup> In Abb. 10 ist der Walzrichtvorgang schematisch skizziert. Da bei diesem Verfahren nur eindimensionale Abweichungen in der Geometrie behoben werden können, eignet es sich vorrangig für die Bearbeitung von Blechen. Bei Stäben hat man häufig das Problem, dass diese in zwei Raumrichtungen verbogen sind und somit ein vollständiges Richten unterbleibt. Das Richten des Blechs erfolgt hier von links nach rechts, wobei die Zustellung der Walzen kontinuierlich

---

<sup>26</sup> Vgl. Informationsbroschüre MAE

<sup>27</sup> Vgl. Lange (1990), S. 296.

abnimmt, bis das Blech in gerichtetem Zustand auf der rechten Seite die Maschine verlässt. Die Walzstühle verfügen über zusätzliche Stützwalzen, um die Belastung der Richtwalzen zu verringern.



Abb. 10: Schematische Darstellung des Walzrichtprozesses, Quelle: reutter-blech.de [03.04.2017].

Von maßgeblicher Bedeutung für ein möglichst optimales Walzrichtergebnis sind wie bereits erwähnt, die Anzahl der Walzen im Richtprozess sowie die Achsabstände zueinander. Entscheidenden Einfluss darauf haben wiederum die Fließgrenze des Richtwerkstoffes, die Dicke und Breite des Materials sowie der Elastizitätsmodul. Mit jenen Parametern ist es möglich, die Achsabstände und die Walzendurchmesser zu berechnen, abhängig von den zulässigen Kräften, die aufgebracht werden dürfen. Grundsätzlich kann die Walzenteilung dann als optimal bezeichnet werden, wenn die notwendige Randdehnung des zu richtenden Werkstückes mit minimaler Zustellbewegung erreicht wird, weshalb eine möglichst kleine Teilung das Ziel sein sollte. Ein Nachteil ist hierbei, dass bei Verringerung der Walzenteilung die erforderlichen Richtkräfte im Gegenzug sehr groß werden und es somit einfach nicht möglich ist dies entsprechend zu realisieren. Zusätzlich entsteht hier das Problem, dass mit Verringerung des Achsabstandes auch der Walzendurchmesser verringert werden muss. Größer werdenden Belastungen beim Richtvorgang stehen somit geringer belastbare Walzen gegenüber.<sup>28</sup> Es wird also in aller Regel versucht, die maximale Belastbarkeit der einzelnen Komponenten möglichst auszunutzen, damit eine gewünschte geringe Walzenteilung erreicht wird. Um die physikalischen Vorgänge zu verstehen, ist es nun außerdem noch notwendig sich mit den auftretenden Randdehnungen und den damit in Zusammenhang stehenden elastisch-plastischen Biegebeanspruchungen auseinanderzusetzen. Da dies vor allem spezifisch für Walzrichtprozesse essentiell ist, soll hier gesondert darauf eingegangen werden.

Damit ein Richten des Werkstückes überhaupt möglich wird, ist es notwendig Biegungen so stark am Material aufzubringen, dass sich eine Veränderung von einem rein elastischen hin zu einem möglichst vollplastischen Biegevorgang vollzieht. Die notwendigen Kräfte sind sowohl von der Anordnung der Richtwalzen und der Zustellbewegung, aber vor allem auch von den Materialeigenschaften abhängig. In Abb. 11 ist eine Einzelbiegung eines Walzrichtprozesses schematisch dargestellt.

<sup>28</sup> Vgl. Bräutigam/Becker (2009), S. 26 f.

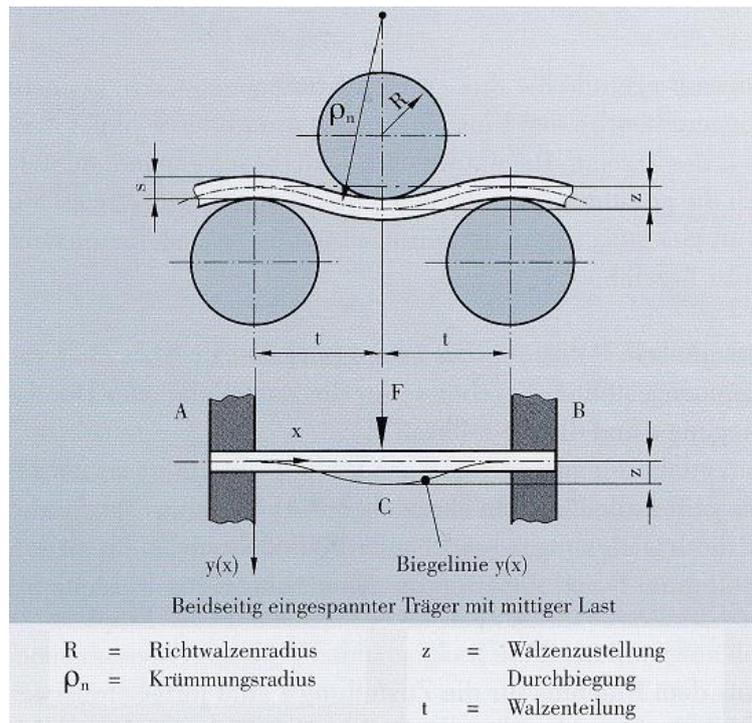


Abb. 11: Darstellung der Biegebeanspruchung bei einem Walzrichtvorgang, Quelle: Bräutigam/Becker (2009), S. 25.

Dadurch wird auch die Analogie zu einem beidseitig eingespannten Träger und den zugehörigen Belastungen aufgezeigt. Dies zeigt, dass die Verringerung des Achsabstandes und ein kleinerer Walzendurchmesser – bei gleicher Zustellung – ein Richten des Richtgutes begünstigen. Bei vergleichsweise geringen Zustellbewegungen in Abhängigkeit der Walzenteilung und des Walzendurchmessers, wird das Werkstück nur im elastischen Bereich beansprucht, sofern die Maximalwerte der Randspannungen unterhalb der Streckgrenze liegen. Beim Austreten aus den Richtwalzen kommt es somit zu einem vollständigen Zurückfedern des Richtgutes. Erhöht man die Zustellung auf das Material wird auch das auftretende Biegemoment erhöht und die Streckgrenze des Werkstoffes überschritten. Dies ist eine Voraussetzung um ein Richten des Werkstückes überhaupt zu erreichen.<sup>29</sup>

Wie in Abb. 12 zu sehen ist, tritt zunächst an den Randfasern eine plastische Verformung auf, welche sich bei weiterer Zustellbewegung immer näher der neutralen Faser annähern würde. An den inneren und äußeren Randfasern treten immer die betragsmäßig größten Spannungen und Dehnungen auf, welche als Randspannungen  $\sigma_R$  und die bereits erwähnten Randdehnungen  $\varepsilon_R$  bezeichnet werden. Außerdem soll noch auf die unterschiedliche Belastung des Werkstückes hingewiesen werden. Es handelt sich, sofern die Walzen symmetrisch angeordnet sind um abwechselnde Zug- und Druckbelastungen in gleichem Ausmaß. Wird nun die Belastung auf das Richtgut wieder entfernt, federt das Werkstück nur um jenen Teil zurück, der keiner plastischen Beanspruchung ausgesetzt wurde.<sup>30</sup>

<sup>29</sup> Vgl. Bräutigam/Becker (2009), S. 19 ff.

<sup>30</sup> Vgl. Bräutigam/Becker (2009), S. 19 ff.

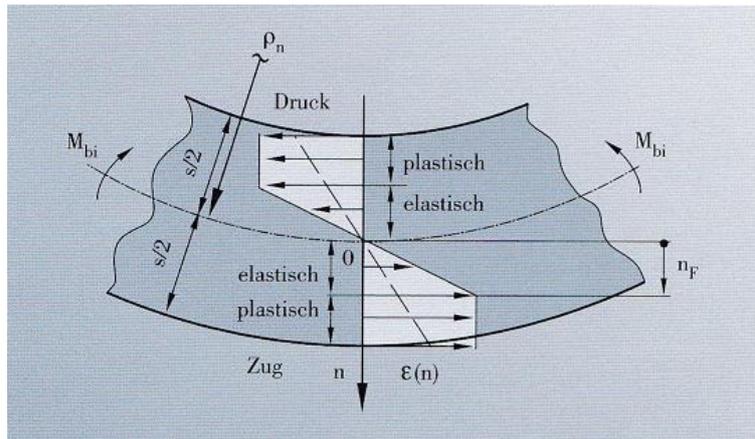


Abb. 12: Detaillierte Darstellung der elastisch-plastischen Biegebeanspruchung bei einem Walzrichtvorgang, Quelle: Bräutigam/Becker (2009), S. 31.

Mit den nachfolgenden Formeln in diesem Unterabschnitt können die Walzenteilung, die maximale Zustellung und die dafür notwendige Randdehnung berechnet werden. Die Randdehnung aus Formel 3.1 ergibt sich aus der Blechdicke und dem Krümmungsradius, wobei diese laut entsprechenden Erfahrungen in der Vergangenheit zumindest den zweifachen Wert der maximalen elastischen Dehnung haben sollte, um ein gutes Richtergebnis zu ermöglichen. Möchte man die Randdehnung vorab berechnen um in weiterer Folge die Walzenteilung sowie die maximale Zustellung zu ermitteln, kann vorab näherungsweise ein Wert zwischen der doppelten maximalen elastischen Dehnung und 0,03 angenommen werden. Dies ist insofern notwendig, da sich der notwendige Krümmungsradius für die Berechnung aus der Randdehnung erst ergibt und somit nicht berechnet werden kann, wenn als Ergebnis Walzenabstand und maximale Zustellung gewünscht werden.<sup>31</sup>

$\varepsilon_R = \frac{s}{2\rho_n}$	(3.1)	$\varepsilon_R/1$	Randdehnung
$2\varepsilon_F \leq \varepsilon_R \leq 0,03$		$\varepsilon_F/1$	maximale elastische Dehnung
		s/mm	Blechdicke
		$\rho_n$ /mm	Krümmungsradius

Formel 3.2 zeigt die Berechnung der elastischen Dehnung, welche von der Fließgrenze und dem Elastizitätsmodul abhängig ist.<sup>32</sup>

$\varepsilon_F = \frac{\sigma_F}{E}$	(3.2)	$\varepsilon_F/1$	maximale elastische Dehnung
		$\sigma_F$ /Nmm <sup>-2</sup>	Fließgrenze

<sup>31</sup> Vgl. Bräutigam/Becker (2009), S. 29.

<sup>32</sup> Vgl. Bräutigam/Becker (2009), S. 27.

E/Nmm<sup>-2</sup>      Elastizitätsmodul

Mit Formel 3.3 kann nun die Walzenteilung berechnet werden, wobei die maximal aufzubringende Kraft gesondert ermittelt werden muss. Diese ist wesentlich vom Walzendurchmesser sowie dem Walzenmaterial und den eventuell vorhandenen Stützwalzen abhängig und kann daraus berechnet werden. Daneben werden Angaben zur Blechdicke, zur Blechbreite und zum Elastizitätsmodul des Werkstoffes benötigt, aber auch die Randdehnung.<sup>33</sup>

$$t = \frac{2bs^2E\varepsilon_R}{3F} \quad (3.3)$$

t/mm	Walzenteilung
b/mm	Blechbreite
s/mm	Blechstärke
E/Nmm <sup>-2</sup>	Elastizitätsmodul
$\varepsilon_R/1$	Randdehnung
F/N	Zustellkraft

Zuletzt gilt es nun noch die maximale Zustellung für den Richtprozess zu ermitteln, wobei diese von der Walzenteilung, der Blechdicke und der Randdehnung abhängig ist, wie aus Formel 3.4 hervorgeht.<sup>34</sup>

$$z = \frac{t^2\varepsilon_R}{3s} \quad (3.4)$$

z/mm	Walzenzustellung
t/mm	Walzenteilung
$\varepsilon_R/1$	Randdehnung
s/mm	Blechstärke

Um die vorangegangenen Formeln sowie den Vorgang des Walzrichtens besser verständlich zu machen, erfolgt hier beispielhaft die Berechnung aller notwendigen Parameter. Die nachfolgenden Annahmen hinsichtlich des zu richtenden Materials, welche Tab. 1 zu entnehmen sind sowie die vorhandene Kraft bezieht sich in Anlehnung auf am Markt befindliche Erzeugnisse und Richtmaschinen, wobei die maximal aufzubringende Zustellkraft mit 30000 N angenommen wird. Die tatsächlich von der Richtmaschine aufzubringende Kraft liegt hier naturgemäß wesentlich darüber, da auch die nachfolgenden Richtwalzen – wenn auch entsprechend geringere – Kräfte aufbringen müssen. In Summe liegen hier die Belastungen

---

<sup>33</sup> Vgl. Bräutigam/Becker (2009), S. 27.

<sup>34</sup> Vgl. Bräutigam/Becker (2009), S. 27.

für den oberen und unteren Walzstuhl bei einem Vielfachen der größten aufzubringenden Kraft. Zwar wäre die Berechnung eines Rundmaterials für diese Arbeit hilfreicher, jedoch muss hier gesagt werden, dass die zuvor angeführten Formeln nur für rechteckige Querschnitte geeignet sind. Für runde Querschnitte können somit keine aussagekräftigen Ergebnisse bereitgestellt werden. Es konnten in der Literatur auch keine Formeln gefunden werden, die sich mit den Berechnungen von runden Querschnitten in Bezug auf das Walzrichten befassen.

$\sigma_F/\text{Nmm}^{-2}$	$E/\text{Nmm}^{-2}$	$b/\text{mm}$	$s/\text{mm}$
355	210000	500	3

Tab. 1: Werkstoffeigenschaften und Abmessungen des Baustahls 1.0570, Quelle: Eigene Darstellung.

Durch die Anwendung der Formel 3.2 unter den angenommenen Prämissen, ergibt sich zunächst eine maximale elastische Dehnung  $\varepsilon_F$  von 0,00169. Dieser Wert wird, wie bereits erläutert, verdoppelt, um die aus Erfahrung notwendige Mindestgröße zu erhalten, die für zufriedenstellende Richtergebnisse notwendig ist. Somit erhält man als notwendigen Wert  $\varepsilon_R$  0,00338 der nun mit den anderen vorgegebenen Parametern in Formel 3.3 eingesetzt wird, um die Walzenteilung ermitteln zu können. Als Ergebnis erhält man einen Walzenabstand von 70,98 mm. Abschließend gilt es nun noch die maximale Zustellung im Einlaufbereich der Maschine zu ermitteln für die auch die der vorhin berechnete Walzenabstand notwendig ist. Formel 3.4 führt zu einer Zustellung an den Einlaufwalzen von zumindest 1,89 mm. In Tab. 2 sind die Ergebnisse der gesamten Berechnung übersichtlich veranschaulicht.

$\varepsilon_F/1$	$\varepsilon_R/1$	$t/\text{mm}$	$z/\text{mm}$
0,00169	0,00338	70,98	1,89

Tab. 2: Ergebnisse der beispielhaften Berechnung, Quelle: Eigene Darstellung.

Es ist hier insbesondere die Erfahrung in Bezug auf den zu wählenden Wert  $\varepsilon_R$  von großer Bedeutung, da sich neben den Achsabständen vor allem die Zustellbewegung aufgrund des quadratischen Zusammenhangs zu den Walzenabständen erheblich ändert, wie Tab. 3 zeigt.

$\varepsilon_R/1$	$t/\text{mm}$	$z/\text{mm}$
0,00507	106,47	6,39
0,00676	141,96	15,14
0,00845	177,45	29,56

Tab. 3: Unterschiedliche Walzenteilung und Zustellung in Abhängigkeit der Randdehnung, Quelle: Eigene Darstellung.

Daraus folgt, dass bei angestrebter höherer Randdehnung die Walzenabstände  $t$  sowie die Zustellung  $z$  immer weiter zunehmen. Oftmals werden in Richtmaschinen mehr als 20 Walzen in nur einem Walzstuhl

verbaut, weshalb sich die Änderungen hinsichtlich des Walzenabstands negativ auf die Baugröße der Maschine auswirken. Ein wesentlich größeres Problem entsteht jedoch aufgrund der Tatsache, dass die Walzenzustellung dann sogar so groß wird, dass die Bleche nicht mehr durchgeführt werden können. In Abb. 13 ist die schematische Darstellung der Ergebnisse aus Tab. 3 zu sehen, welche auch die Problematik aufzeigt.

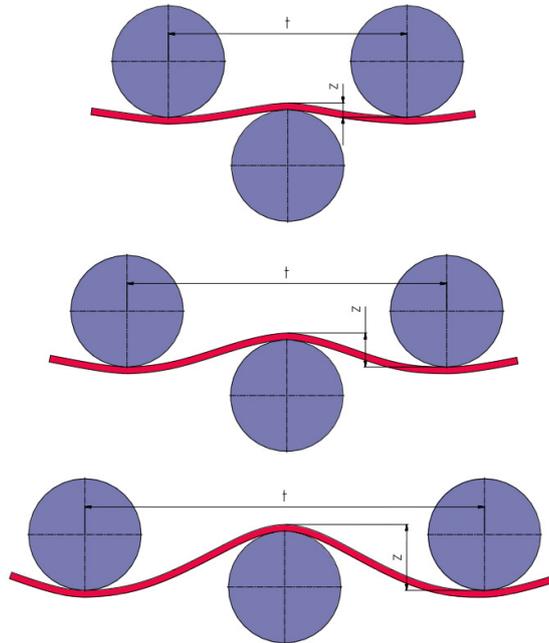


Abb. 13: Schematische Darstellung des jeweiligen Walzenabstands  $t$  und der Zustellung  $z$  in Abhängigkeit der Randdehnung bei gleichbleibender Belastung der Walzen, Quelle: Eigene Darstellung.

Möchte man eine entsprechend höhere Randdehnung ohne Vergrößerung der Walzenabstände erreichen, damit die Zustellung  $z$  weniger groß ausfällt, wäre es notwendig die Walzen größer zu dimensionieren, da die auftretenden Kräfte beim Walzen dadurch erheblich ansteigen.

Werden mehr als drei Richtwalzen eingesetzt, was nach Möglichkeit immer der Fall ist, nehmen die Zustellbewegung und damit auch der Biegemomentenverlauf linear ab.<sup>35</sup> Die Tatsache dass beim Walzrichten eine Vielzahl an Walzen eingesetzt wird beruht auf einer leichteren Richtbarkeit und hat zwei unterschiedliche Gründe. Um dies zu erreichen macht man sich den sogenannten Bauschinger-Effekt zunutze. Dieser besagt, dass bei abwechselnder Biegebelastung in gegensätzlicher Richtung der Beginn der plastischen Verformung früher einsetzt, da hier alternierend Zug- und Druckbeanspruchungen vorliegen. Als Ursache gelten Eigenspannungen im Material, die bei Entlastung aufgrund einer ungleichmäßigen Verteilung im Werkstoff zurückbleiben und somit für eine frühere plastische Verformung bei Gegenbiegung sorgen.<sup>36</sup> In Abb. 14 ist dieser Effekt grafisch dargestellt.

<sup>35</sup> Vgl. Bräutigam/Becker (2009), S. 38f.

<sup>36</sup> Vgl. Behrens/Doege (2007), S. 17.

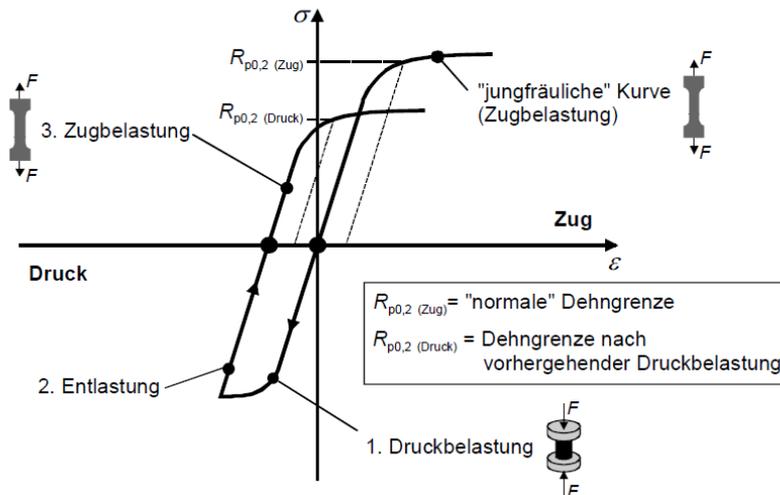


Abb. 14: Darstellung des Bauschinger-Effekts anhand eines Diagramms, Quelle: Behrens/Doege (2007) S. 26.

Somit dient eine höhere Anzahl an Walzen einer einfacheren Richtbarkeit und einer geringeren Belastung der einzelnen Walzen. Gleichzeitig begünstigen mehrere Walzen den Abbau von Restspannungen, welche verfahrensbedingt durch die auftretenden elastisch-plastischen Wechselbiegungen auftreten. Restspannungen sind Eigenspannungen im Inneren eines Werkstückes, wobei von außen keinerlei Kraft aufgebracht wird. Als Ursache gilt neben einer schnellen Abkühlung auch oftmals das Kaltumformen, wie dies eben auch beim Richten der Fall ist. Unterschieden wird hierbei zwischen Druckeigenspannungen und Zugeigenspannungen. Der Grund für deren Auftreten ist, dass die Belastung beim Verformen auf das Werkstück nicht in gleichem Maße über den ganzen Querschnitt auftritt, wie dies schon beschrieben wurde. Somit ergibt sich, dass an der Werkstückaußenseite und der Werkstückinnenseite bei entsprechender Belastung bleibende Krümmungen zurückbleiben die verhindern, dass die elastische Verformung im Inneren des Werkstückes vollständig abgebaut wird. Aufgrund der Tatsache, dass die Spannungsverteilung in Summe null sein muss, ergibt sich ein kontinuierlicher Spannungsverlauf im Werkstück, der die Spannungen an der Außen- und Innenseite des Werkstückes ausgleicht.<sup>37</sup> In Abb. 15 sind die unterschiedlichen Spannungsverläufe veranschaulicht.

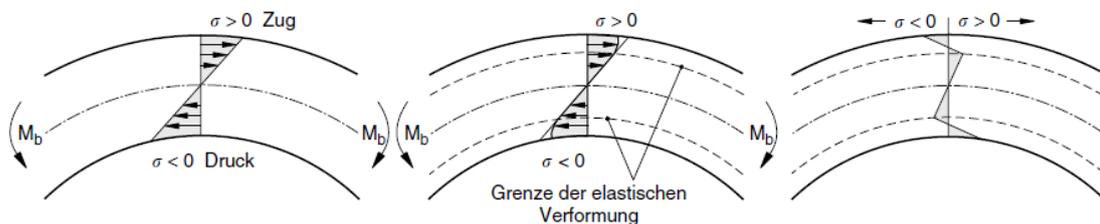


Abb. 15: Das linke Bild zeigt eine rein elastische Verformung, wohingegen das mittlere Bild eine elastisch-plastische Verformung zeigt. Das rechte Bild veranschaulicht die dadurch zurückbleibenden Restspannungen. Quelle: Bargel/Schulze (2012), S. 115.

Da die Walzenstellung immer weiter abnimmt, kommt es zu entsprechend geringeren Biegungen des Richtgutes, wodurch auch die Spannungsspitzen im Material immer weiter abnehmen und dadurch

<sup>37</sup> Vgl. Bargel/Schulze (2012), S. 114 f.

Restspannungen abgebaut werden. Der große Vorteil ist hier, dass wesentlich formgenauere Richtergebnisse erzielt werden können, weshalb man grundsätzlich bei gewünschter hoher Richtgüte, eine höhere Anzahl an Richtwalzen verwenden muss.<sup>38</sup>

### 3.2.3.2 Mehrwalzenrichtverfahren

Da Rohre, Drähte und Stäbe häufig in allen drei Raumdimensionen verbogen sind, wird hier ein anderes Walzverfahren zum Richten der Werkstücke bevorzugt. Man spricht hier von dem Zwei-, Drei- oder Sechswalzrichtverfahren, bei denen die hyperbolischen oder parabolischen Walzen schräg zur Stabachse angeordnet sind, wie in Abb. 16 ersichtlich wird. Dadurch kann eine Biegung des zu richtenden Materials in allen drei Raumdimensionen erzielt werden. Die hyperbolischen Walzen haben hierbei den Vorteil, dass das Walzgut keiner zusätzlichen Führung bedarf, da das Werkstück in der konkaven Form der Walzen geführt wird. Der Umstand, dass sich der Werkstückdurchmesser beim Dreiwalzenrichtverfahren um bis zu 1 % erhöht, sollte außerdem nicht unerwähnt bleiben. Als Ursachen für dieses Phänomen werden die unterschiedlich stark auftretenden Reibungskräfte sowie der Querdruck beim Richten genannt. Je nach zu verarbeitender Geometrie wird eine unterschiedliche Anzahl an Walzen bevorzugt um ein optimales Ergebnis zu erhalten.<sup>39</sup>

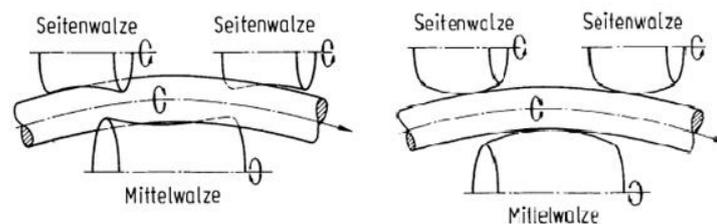


Abb. 16: Hyperbolisches und parabolisches Dreiwalzenverfahren; Quelle: Lange (1990), leicht modifiziert.

Bezogen auf die Aufgabenstellung dieser Arbeit, könnte man annehmen, dass sich dieses Verfahren zur Erfüllung dieser anbieten würde. Die Tatsache, dass die zu richtenden Werkstücke über vergleichsweise sehr geringe Abmessungen verfügen sowie einseitig über einen Kopf aufweisen, erschwert eine Realisierung erheblich. Um ein Abrollen der Walzen zu ermöglichen, müssen diese entsprechend gut gelagert sein, damit der Rollwiderstand beim Durchführen des Werkstückes überwunden wird. Die dafür notwendigen Wälzlager würden die Walzengröße im Vergleich zum Richtgut unverhältnismäßig groß werden lassen, wodurch ein Richten aufgrund des großen Krümmungsradius der Walzen wiederum immens erschwert werden würde. Der Einsatz dieses Verfahrens stellt dementsprechend keine zielorientierte Lösung für die vorliegende Problemstellung dar.

### 3.2.4 Drahtziehen

Alternativ zu den bereits beschriebenen Richttechnologien soll auch das Drahtziehen beschrieben werden, da auch in diesem Fall einem bestimmten Material, nämlich Drähten, eine gewünschte Form

---

<sup>38</sup> Vgl. Bräutigam/Becker (2009), S. 41 ff.

<sup>39</sup> Vgl. Lange (1990), S. 297 f.

verliehen wird. Das Drahtziehen gehört zu den Zug-Druck-Umformverfahren aufgrund der Tatsache, dass beim Verformungsvorgang sowohl Zugkräfte als auch Druckkräfte aufgebracht werden. Es werden bei diesem Umformprozess Drähte durch einen Ziehring gezogen, wobei sich aufgrund der Verjüngung an dieser Stelle der Drahtdurchmesser auf ein gewünschtes Maß verringert. Je nach Drahtdurchmesser spricht man von unterschiedlichen „Zügen“ wie dem Grobzug, dem Mittelzug, dem Feinzug und dem Kratzenzug. Die zu ziehenden Drahtdurchmesser bewegen sich dabei zwischen 16 mm beim Grobzug und unter 0,7 mm beim Kratzenzug.<sup>40</sup> Hinsichtlich des Maschinenaufbaus gilt es ebenfalls divergierende Bauweisen zu unterscheiden. Grundsätzlich wird zwischen einem Einfachzug und einem Mehrfachzug unterschieden. Bei Ersterem durchläuft der umzuformende Draht nur einen Zug, wohingegen der Draht bei Letzterem mehrfach verjüngt wird. Somit ist es möglich, mit nur einer Maschine den Drahtdurchmesser erheblich zu verringern, auch wenn dies mit einer steigenden Komplexität der Anlage einhergeht.

Einen wesentlichen Anteil an einem optimalen Ziehprozess haben die für den Umformvorgang notwendigen Ziehwerkzeuge. Die Form der Ziehsteine ist immer relativ ähnlich, auch wenn sich die Winkel der unterschiedlichen Kegel je nach verwendetem Ziehwerkstoff und zu verarbeitendem Material unterscheiden, sowie die Führungslänge geringfügig verschieden ist. In Abb. 17 wird eine schematische Darstellung einer typischen Ziehsteingeometrie gezeigt. Grundsätzlich besteht ein Ziehstein aus einem steilkegeligen Einlaufkonus, einem flachkegeligen Ziehkegel, dem Ziehzylinder – auch Führungslänge genannt – und dem Auslaufkonus.<sup>41</sup>

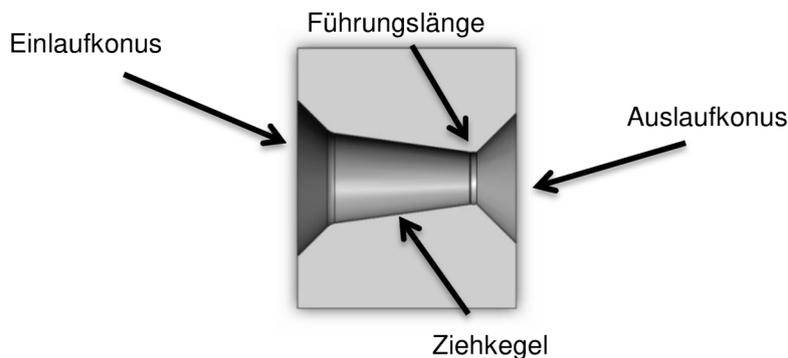


Abb. 17: Typische Form eines Ziehsteines nach DIN 1547, Quelle: Eigene Darstellung.

Als Materialien für das Ziehen von Metallen haben sich Stahl, Hartmetall und Diamanten etabliert. Für größere Drahtdurchmesser werden für gewöhnlich Ziehsteine aus Stahl verwendet. Bei Drähten mit geringerem Durchmesser werden bevorzugt Hartmetallziehsteine eingesetzt. Diamanten eignen sich hingegen für das Ziehen von kleinsten Drahtdurchmessern und dem Ziehen von Werkstoffen wie Kupfer, Wolfram, Molybdän aber auch Stahl. Die Diamanten sind hierbei in eine Stahlfassung eingebracht und stellen nur einen sehr geringen Teil des Ziehwerkzeuges dar.<sup>42</sup>

---

<sup>40</sup> Vgl. Tschätsch (2005), S. 95 f.

<sup>41</sup> Vgl. Tschätsch (2005), S. 100.

<sup>42</sup> Vgl. Tschätsch (2005), S. 100 ff.

Um den Umformprozess wirtschaftlicher zu gestalten, werden unterschiedliche Schmierstoffe eingesetzt, da diese einerseits die Standzeit der Ziehringe verlängern und andererseits den Ziehprozess im Allgemeinen vereinfachen. Als Anforderung an die Schmierstoffe können eine hohe Druckbeständigkeit sowie das einfache Aufbringen und Entfernen genannt werden. Je nach zu verarbeitendem Werkstoff werden unter anderem Seifenemulsionen, verschiedene Mineralöle, Rapsöl, Bienenwachs, Talg und Kalk verwendet. Mit Rapsöl ist es somit möglich einen Reibungskoeffizienten von 0,05 bei Hartmetall zu erreichen.<sup>43</sup>

### **3.3 Verpackungstechnik**

Da auch die Verpackung der gerichteten Werkstücke wesentlicher Bestandteil des theoretischen Auseinandersetzungs ist, befasst sich dieses Unterkapitel mit der Verpackungsaufgabe an sich und den Anforderungen an diese. Die unterschiedlichen Drahtstiftfabrikate werden momentan in Druckverschlussbeuteln – auch Zip-Beutel genannt – aus thermoplastischem Kunststoff per Hand einsortiert. Die Anzahl der jeweiligen Stifte pro Packungseinheit reicht von 25 bis zu 50 Stück. Primär haben die Druckverschlussbeutel die Aufgabe die Transportmöglichkeit zu schaffen, um dem Kunden die richtige Anzahl an Stiften zukommen lassen zu können. Daneben spielt auch der Schutz der Stifte eine Rolle, wenngleich dieser hauptsächlich durch die umliegende Kartonverpackung, welche auch als Versandverpackung dient, gewährleistet wird. Somit sollte sich das Verpacken der Stifte grundsätzlich automatisieren lassen, da ein automatisches Verpacken mittels Druckverschlussbeuteln in der Industrie bereits Verwendung findet.

#### **3.3.1 Maschinelle Verpackungstechnik**

Die Entscheidung wie das Verpacken unterschiedlichster Waren durchgeführt wird, hängt von den unterschiedlichsten Einflüssen wie unter anderem der Verpackungskomplexität, der Verpackungsanzahl, der geforderten Produktivität, der notwendigen Flexibilität und den besonderen Umgebungsbedingungen ab. In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass bei Steigerung der Verpackungskomplexität und einer hohen geforderten Flexibilität das händische Verpacken dem maschinellen Verpacken vorzuziehen ist. Dem gegenüber stehen eine hohe Verpackungsanzahl und eine größtmögliche Produktivität, die eine Investition in eine eigene Verpackungsmaschine, welche meist mit sehr hohen Anschaffungskosten verbunden ist, rechtfertigen. Daneben spielen die speziellen Umgebungsbedingungen wie sie in der Lebensmittelindustrie oder in der Computertechnologie vorherrschend sind, eine Rolle, da hier oftmals von Beginn an das händische Verpacken ausgeschlossen werden kann.<sup>44</sup> Nur wenn alle Aspekte einer gründlichen Untersuchung unterworfen wurden, kann verlässlich die Entscheidung über eine händische, maschinelle oder einer Mischung aus beidem getroffen werden. Dabei muss individuell abgewogen werden, welche Schwerpunkte für die jeweilige Verpackungsaufgabe von besonderer Relevanz sind.

Neben den relevanten Kriterien für die Auswahl des Verpackungsvorgangs muss bei der Wahl für eine maschinelle Verpackung auf verschiedene Anforderungen an die Verpackungsmaschine eingegangen

---

<sup>43</sup> Vgl. Fritz/Schulze (2008), S. 432.

<sup>44</sup> Vgl. Kaßmann (2014), S. 221 f.

werden, wobei zumindest die wichtigsten genannt werden sollten. Die Integrationsfähigkeit ist ein Merkmal, das es erlaubt die Verpackungsmaschine in unterschiedlichsten Produktionslinien mit nur geringer notwendiger Anpassung einzusetzen. Je höher diese Eigenschaft ausgeprägt ist, desto umfassender sind die Einsatzmöglichkeiten. Neben diesem Merkmal sorgen auch die Flexibilität und die Anpassbarkeit einer Anlage hinsichtlich der Umstellung auf neue Produkte für eine größtmögliche Verwendbarkeit. Die Zuverlässigkeit kann als obligatorisch angesehen werden und sollte ein vernünftig erreichbares Höchstmaß aufweisen. Um das maschinelle Verpacken zu rechtfertigen, ist sicherlich ein möglichst hoher Automatisierungsgrad erforderlich, da sonst die Rechtfertigung für die hohen Investitionskosten ausbleibt. Neben diesen vorrangig technischen Eigenschaften sollte auch die Benutzerfreundlichkeit nicht vergessen werden, da sie ein entscheidendes Kriterium für den Umgang mit der Anlage darstellen kann.<sup>45</sup> Wie andere Maschinenarten lassen sich auch die Verpackungsmaschinen unter anderem nach ihrer Funktionsweise einteilen. Abb. 18 zeigt dabei eine grobe Gliederung der unterschiedlichen Verpackungsmaschinen.

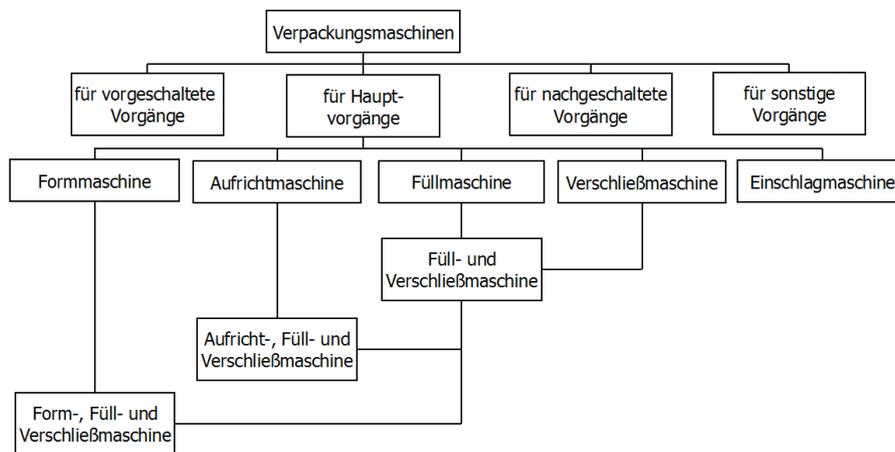


Abb. 18: Einteilung der Verpackungsmaschinen, Quelle: Ahlhaus (1997), S. 293, leicht modifiziert.

Grunds#tzlich wird in der Verpackungstechnik zwischen Basis- und Hilfsoperationen unterschieden. Erstere k#nnen dem wesentlichen Verpackungsprozess wie F#llen und Verschlie#en von Packgut zugerechnet werden, wohingegen Letztere der Vor- und Nachbereitung wie dem Abf#hren der abgepackten Ware oder dem Vorsortieren der zu verpackenden Ware zuzurechnen sind. Eine Verpackungsmaschine vereint je nach Anforderungen mehrere Arbeitsprozesse und f#hrt dementsprechend durchaus auch Hilfsoperationen aus. Im Gegensatz dazu werden Maschinen die der ausschlie#lichen Herstellung von Verpackungsmaterial dienen, sogenannte Formmaschinen, nicht den Verpackungsmaschinen zugerechnet.<sup>46</sup>

Die drei wichtigsten Maschinentypen in der Verpackungstechnik sind die F#ll-, Verschlie#- und die Mehrfunktionsverpackungsmaschine. Erstere wurde vor allem zu Beginn der steigenden Automation verwendet, da aufgrund neuer Technologien das automatische F#llen von G#tern m#glich wurde.

<sup>45</sup> Vgl. Ahlhaus (1997), S. 289 f.

<sup>46</sup> Vgl. Ahlhaus (1997), S. 291.

Gleichzeitig konnte der Komplexität der durchzuführenden Aufgaben zur damaligen Zeit nur sehr beschränkt begegnet werden. Heute werden Füllmaschinen nur dann eingesetzt wenn dies in speziellen Fällen erforderlich ist, ansonsten sind sie in Mehrfunktionsverpackungsmaschinen integriert. Je nach Arbeitsprinzip bezüglich des Füllvorgangs werden unterschiedliche Maschinentypen unterschieden, wie die Volumen-Füll-Maschine oder die Dosier-Füll-Maschine, auf die hier aber nicht weiter eingegangen werden soll. Bei den Verschließmaschinen wird ähnlich den Füllmaschinen im Wesentlichen eine Hauptaufgabe in der Anlage durchgeführt. Es wird hier zwischen drei wichtigen Vertretern unterschieden. Maschinen zum Verschließen ohne Verschließmittel verschließen die Ware durch Falten, Versiegeln oder Schweißen, wohingegen Maschinen mit Verschließmitteln die Produkte mit Hilfe von Schraubdeckeln oder Ähnlichem verschließen. Maschinen, die Güter durch Nutzung von Verschleißhilfsmitteln verpacken, arbeiten zum Beispiel mit Klebstoff oder Nähfaden.<sup>47</sup> Auch die Verschließmaschinen sind heute oftmals in Komplettsysteme integriert, um einen höheren Automatisierungsgrad und damit eine höhere Produktivität zu erlangen. Aufgrund ihrer sehr hohen Wirtschaftlichkeit, werden oftmals Mehrfunktionsmaschinen eingesetzt. Abb. 19 zeigt als Beispiel dafür die schematische Darstellung einer Beutelfüll- und Verschließmaschine, die mehrere Prozesse in sich vereint. Es werden bei diesen Mehrfunktionsmaschinen also unterschiedlichste, zu der Verpackungstechnik gehörende Prozesse, kombiniert, wodurch die Wirtschaftlichkeit weiter erhöht werden kann.

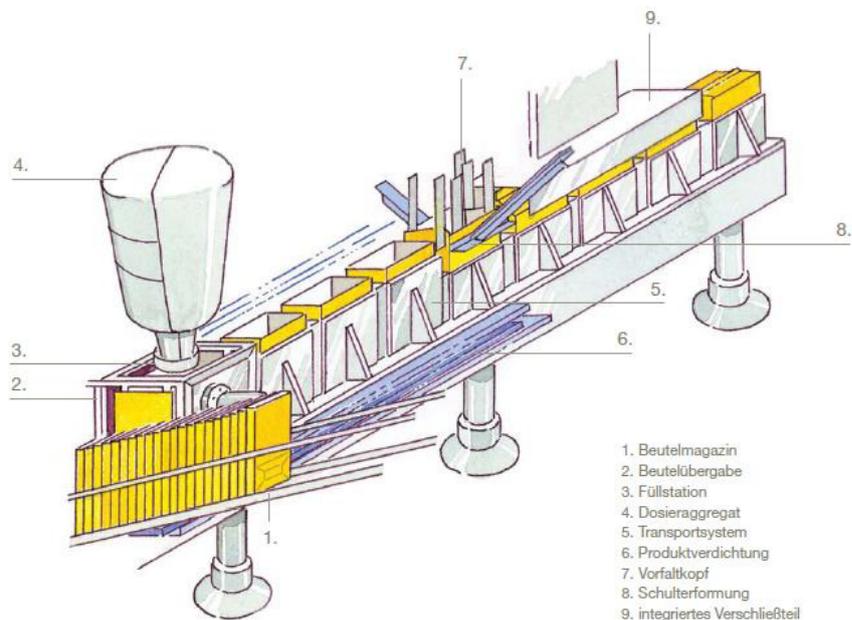


Abb. 19: Mehrzweckmaschine mit Beschreibung der unterschiedlichen Prozessschritte, Quelle: Fawema.com, Onlinequelle [30.09.2017] leicht modifiziert.

<sup>47</sup> Vgl. Ahlhaus (1997), S. 294 ff.

## 4 LÖSUNGSKONZEPTE ZUR VEREINZELUNG, ZUFÜHRUNG UND VERPACKUNG

In den folgenden Unterkapiteln sollen unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, die über eine praktische Umsetzung in dieser Arbeit allerdings hinausgehen. Dementsprechend werden Ideen und Lösungsansätze präsentiert, die deutlich machen, wie in Zukunft neben dem automatischen Richten auch andere Teilbereiche gelöst werden könnten, um den Arbeitsprozess möglichst vollständig zu automatisieren. Darüber hinaus gilt es aber auch, die bereits unternommenen Versuche, das Richten maschinell zu bewerkstelligen, aufzuzeigen. Die dargestellten Lösungen dienen außerdem dazu, auch bei der Konzeptionierung einer automatischen Drahtstiftrichtmaschine in Kapitel 6 Ideen für eine weitere Automatisierung zu berücksichtigen, um eine Weiterentwicklung in späterer Folge zu erleichtern.

### 4.1 Bereits durchgeführte Versuche

Von dem Unternehmen perlenundmehr.at wurden aufgrund der bereits beschriebenen Problematik Anstrengungen unternommen diesen Richtprozess zu automatisieren, um für die Zukunft gerüstet zu sein. Leider waren diese Versuche, aufgrund unterschiedlicher Probleme die bei diesem Prototyp auftraten, wenig erfolgreich. Es wurde offensichtlich auch versucht völlig unterschiedliche Problemstellungen auf einmal zu lösen, nämlich die Stiftzuführung und Vereinzelung sowie das Richten der Stifte. Dies ist sicherlich ein Hauptgrund dafür, dass die Ergebnisse sehr unbefriedigend ausfielen. Zum einen wurde versucht den Zuführungsprozess mit Hilfe eines Vibrationsförderers zu automatisieren und zum anderen das Richten der unterschiedlichen Drahtstifte mittels zweier gegensätzlich zueinander laufenden Rollen in Verbindung mit zwei Bändern durchzuführen, wie Abb. 20 zeigt.<sup>48</sup> Hinsichtlich der Zuführung konnte dabei vor allem beobachtet werden, dass das Design der Verbindung zwischen Vibrationswendelförderer und Richtanlage noch nicht optimal ausgeführt wurde, da viele zu richtende Stifte nicht in optimaler Lage oder überhaupt nicht den Richtbereich erreichten. Hier hätte man auf jeden Fall Vorkehrungen dafür treffen müssen, dass die Stifte mit hoher Verlässlichkeit in optimaler Lage bei der Richteinheit eintreffen.



Abb. 20: Richtteil eines bereits vorliegenden Prototyps, Quelle: Eigene Darstellung.

---

<sup>48</sup> Vgl. Jug (2017).

Das Richten der Drahtstücke erweist sich zusätzlich als mangelhaft, da diese nur durchgeschoben wurden und im Wesentlichen kaum gerichtet wurden. Aufgrund der Tatsache, dass das beauftragte Unternehmen trotz Beschwerden keine zufriedenstellenden Analysen durchgeführt hat und in weiterer Folge Ressourcen verschwendet wurden, wurde auch die Weiterführung eingestellt.<sup>49</sup>

Eine Möglichkeit, das Richten mit dieser Maschine umzusetzen und damit den bereits vorliegenden Prototyp entsprechend weiterzuentwickeln, wäre, die beiden Bänder in unterschiedlicher Geschwindigkeit drehen zu lassen, damit das Richtgut in eine Drehbewegung versetzt wird, wodurch es erneut eine gerade Form erhalten sollte. Problematisch sind hierbei jedoch sicherlich der sehr hohe Verschleiß zwischen den beiden Bändern sowie der Umstand, dass zu stark verbogene Stifte dem Richtprozess nicht zugeführt werden können. Der Grund dafür ist, dass die Stifte bei zu großer geometrischer Abweichung nicht gedreht werden könnten und somit in verbogenem Zustand verbleiben würden. Dies wurde auch händisch überprüft, wobei sich zeigte, dass man zwar grundsätzlich gute Ergebnisse erreichen würde, aber eben nur unter der Einschränkung von nur geringfügigen Biegungen an den Stiften die gerichtet werden können. Dies ist auch der Hauptgrund, weshalb diese Möglichkeit nicht weiter untersucht wurde, weil zu viele zu richtende Stifte nicht für diesen Richtprozess geeignet wären. Zusätzlich müsste auch dafür gesorgt werden, dass sich die Drahtstifte in exakt vertikaler Lage beim Einführen in den Richtbereich befinden. Beschädigungen können andernfalls nicht ausgeschlossen werden.

## 4.2 Beförderung, Vereinzelung und Zuführung

Um die Nietstifte zu befördern könnten Vibrationsförderer, wie jene die in Unterkapitel 3.1 ausführlich beschrieben werden, eingesetzt werden. Ein wichtiger Aspekt ist dabei, dass die Nietstifte bei der Beförderung zueinander auf Abstand gehalten werden müssen um überhaupt eine vereinzelte Zuführung zu ermöglichen. Zunächst gilt es aber die willkürlich ungeordneten Nietstifte soweit zu ordnen, dass diese sich überhaupt der Reihe nach in einem Fördersystem befinden. Eben dafür würde sich ein Vibrationswendelförderer eignen, der dafür sorgt, dass sich die Stifte kontinuierlich nach oben bewegen. Aufgrund der Bauart ergibt sich der Vorteil, dass eine nicht zu große Menge gleichzeitig nach oben befördert wird, da immer wieder Nietstifte nach unten fallen, wenn sich zu viele davon auf der Förderbahn befinden. Hierzu gibt es am Markt bereits vollwertige Lösungen, wie etwa vom Unternehmen WSM-Automation GmbH, die verwendet werden können.<sup>50</sup> Im Anschluss daran würde sich eine Förderrinne befinden in welche die Drahtstifte hineinfallen. Eine Lösung, um den entsprechenden Abstand sicherzustellen, kann darin bestehen, die Nietstifte durch ein zweigeteiltes Vibrationsfördersystem hängend zu befördern, wobei der zweite Förderer die zu richtenden Stifte durch unterschiedliche Frequenz doppelt so schnell befördert wie der erste. Als Alternative dazu könnten beim zweiten Förderer auch Förderbänder angedacht werden. Ein sicherer Abstand kann durch diese alternierende Möglichkeit unter Umständen sogar eher gewährleistet werden. Zudem lässt sich derart das potentielle Risiko umgehen, dass sich die Stifte nach der Abstandszuweisung erneut zusammenschieben, weshalb diese

---

<sup>49</sup> Vgl. Jug (2017).

<sup>50</sup> Vgl. wsm-automation.de, Onlinequelle [17.01.2017].

Möglichkeit als bevorzugt einzustufen ist. Um sicherzustellen, dass sich in an der richtigen Stelle ein Stift befindet der anschließend weiterbefördert werden kann, müsste eine Sensorik verbaut werden die dies ermittelt. Sobald die gewünschte Lage bestätigt wird, ist es im nächsten Schritt wichtig die Weiterbeförderung der Stifte auf den Fördereinheiten einzustellen. Anschließend entnimmt eine Stiftaufnahme am Ende der schnelleren Fördereinheit einen verbogenen Stift. Dieser wird dann der Richtmaschine zugeführt und die Stiftaufnahme kehrt an den Vibrationsförderer zurück, woraufhin die Stifte aufs Neue weiterbefördert werden dürfen. Die schematische Darstellung dieser Idee ist Abb. 21 zu entnehmen.

Grundsätzlich sollte es auch realisierbar sein mit einer Stiftaufnahme gleich mehrere Drahtstifte, die sich nun in relativ genauem Abstand zueinander befinden, aufzunehmen und der Richtmaschine zuzuführen. Dadurch würde sich die Wirtschaftlichkeit um ein Vielfaches erhöhen lassen. Zu beachten ist aber, dass die Stiftaufnahme der Richtmaschine so gestaltet ist, dass das Zuführen der Stifte unkompliziert gelingt. Ein Zuführen von oben ist maschinell nur schwer zu realisieren, da die Drahtstifte unterschiedlich verbogen sind und somit kaum eingefädelt werden könnten.

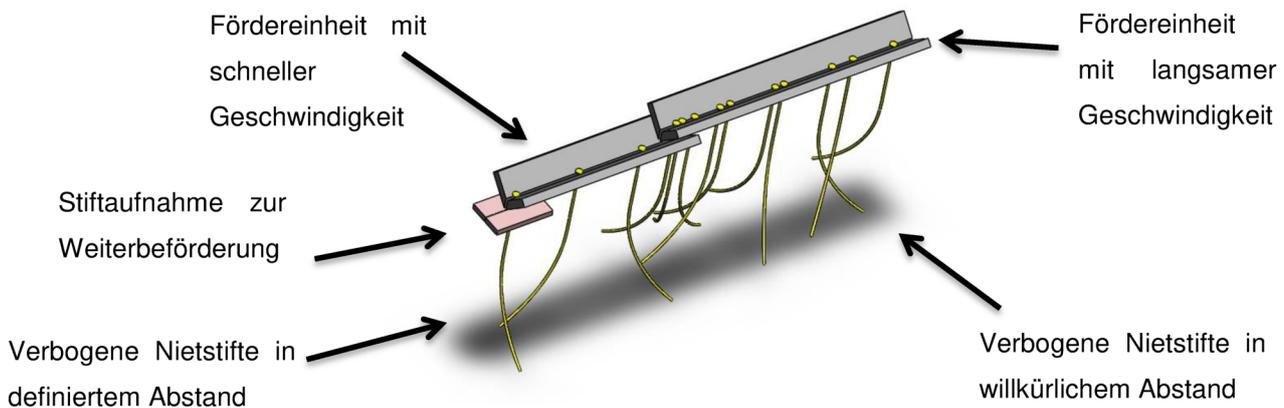


Abb. 21: Schematische Darstellung des Vereinzelungs- und Zuführungskonzeptes, Quelle: Eigene Darstellung.

### 4.3 Stückgut-zählung

Der letzte Schritt vor dem Verpacken der Nietstifte wäre das automatische Zählen dieser, um ein selbständiges Verpacken überhaupt zu ermöglichen. Eine relativ einfache Möglichkeit die Anzahl von Gütern zu eruieren, besteht darin, diese mit den zu wiederholenden Vorgängen an der Maschine durchzuführen. Am Beispiel des abschließenden Konzeptes einer automatischen Drahtstift-Richtmaschine das in dieser wissenschaftlichen Arbeit in Kapitel 6 vorgestellt wird, besteht hier zum Beispiel die Möglichkeit die Anzahl der gerichteten Stifte so zu bestimmen, dass nur der Richtvorgang und der nachfolgende Auswurf von einer SPS gezählt werden. Schwachpunkt bei dieser Durchführung ist allerdings die Tatsache, dass bei unvollständiger Befüllung der Richtmaschine dennoch so gezählt wird, als würde diese voll beladen sein. Es muss also sichergestellt werden, dass die Maschine nur dann die Richtbewegungen ausführt, wenn sich auch ein Nietstift in der Maschine befindet. Darüber hinaus ist natürlich auch das Zählen mittels mechanischer Schalter möglich Sie bieten zwar den Vorteil, dass ihnen ein einfaches Prinzip zugrunde liegt, jedoch greifen sie aufgrund des zu überwindenden Widerstands in den Materialfluss ein. Vorteilhaft hingegen ist sicherlich, dass ohne weitere Sensorik der Zählvorgang zuverlässig gezählt werden kann. Aufgrund der sehr geringen Werkstückabmessungen und dem damit

verbundenen geringen Gewicht, welches sich je nach Fabrikat zwischen 0,06 g und 0,33 g bewegt, ist dies jedoch schwierig umzusetzen, da auf die Schalter eine gewisse Kraft aufgebracht werden muss und bei den üblichen Modellen am Markt ein Vielfaches der Kraft aufgebracht werden müsste, welche ein Drahtstift auf solch einen Schalter ausüben würde. Die Möglichkeiten Stück- und Schüttgut zu erfassen sind sehr umfangreich und erstrecken sich von dem Wiegen der Teile über das Erfassen des Füllstandes bis hin zum Detektieren einzelner Teile durch Näherungssensoren. Bei der Sensorik, welche sich durch die technischen Entwicklungen in den letzten Jahrzehnten immer weiter durchsetzt, werden vor allem induktive und kapazitive Näherungsschalter sowie Lichtschranken und Ultraschallsonden verwendet, um nur die wichtigsten zu nennen.

Mit Blick auf zukünftige Entwicklungen, deren Basis die vorliegende wissenschaftliche Arbeit sein kann, ist auch denkbar, eine Zählung auf Basis des Richtprozesses mit einem Abwiegen der Drahtstifte in den Druckverschlussbeuteln zu kombinieren. Mit einem derartigen Konzept scheint die vorliegende Problematik pragmatisch und sicher gelöst. Eine genaue Waage vorausgesetzt, könnte durchaus sichergestellt werden, dass sich die korrekte Anzahl an Stiften in einer Verpackungseinheit befindet. Alternativ könnte man auf eine Waage verzichten und mit Hilfe von Sensoren die Bestückung der Richtmaschine überwachen.

#### 4.4 Verpackungsmöglichkeit

Abschließend soll im vorliegenden Kapitel noch eine Lösung präsentiert werden, wie die gerichteten Drahtstifte den verwendeten Druckverschlussbeuteln zugeführt werden können. Bei dem Vorgang wird davon ausgegangen, dass die gerichteten Nietstifte von oben herab aus dem Richtwerkzeug fallen, wie dies auch bei dem Prototyp der Fall ist. Die Herausforderung besteht darin, dass die Stifte immer in gleicher Position der Verpackung zugeführt werden müssen, da diese standardmäßig immer mit dem Nietstiftkopf auf derselben Seite abgepackt werden müssen. Wie Abb. 22 zeigt, kann man dies mit einer einfachen schief angebrachten Rinne bewerkstelligen, die dafür sorgt dass die Stifte immer den Nietkopf oder gegebenenfalls die Öse an derselben Seite haben. Der Stift rutscht dann weiter zur nächsten zweigeteilten Auffangrinne mit einem Anschlag am Ende, welcher sicherstellt, dass die Stifte immer in gleicher horizontaler Lage liegenbleiben. Anschließend wird die zweigeteilte Rinne geöffnet und der Stift kann in den Druckverschlussbeutel fallen.

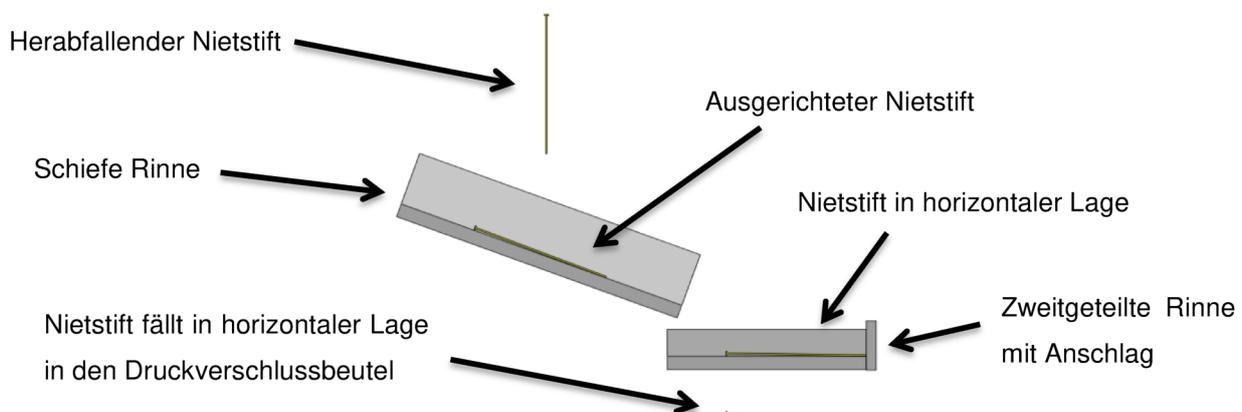


Abb. 22: Schematische Schnitt-Darstellung eines möglichen Verpackungsprozesses, Quelle: Eigene Darstellung.

Kombiniert man dieses System mit einem Förderband darunter, auf welchem die Druckverschlussbeutel befördert werden, könnten die Verpackungen nach der richtigen Anzahl an Stiften weiterbefördert werden. Abschließend können diese händisch verschlossen werden, wobei in der Zwischenzeit schon der nächste Beutel wieder befüllt wird. Der nächste Schritt wäre dann die Druckverschlussbeutel automatisch verschließen zu lassen, wodurch man in die Maschine eine Mehrfunktionsverpackungsmaschine integrieren würde. Das Ziel letztlich doch zur Gänze alle noch von Hand durchgeführten Tätigkeit zu automatisieren, kann damit erreicht werden.

## 5 ENTWICKLUNG DES PROTOTYPS

Die Entwicklung eines Prototyps der den anfangs gesetzten Anforderungen entspricht, erfordert zunächst die praktische Untersuchung des Richtprozesses. Wie bereits erwähnt, ist es notwendig, dass das Richten der Drahtstifte mit möglichst wenigen Schritten in vertretbarer Zeit durchgeführt wird, wenngleich es vor allem wichtig ist, dass das Ergebnis unter allen Umständen zufriedenstellend ausfällt. Zusätzlich ist es essentiell, dass die beschichtete Oberfläche – sofern diese vorhanden ist – nicht beschädigt wird, weshalb in den Richtversuchen Kunststoff als Werkzeug-Werkstoff verwendet wird, der ein schonendes Richten grundsätzlich erlaubt.

In der Erarbeitung des theoretischen Basiswissens wurden bereits Ideen entwickelt, wie das Richten der Stifte zufriedenstellend gelöst werden könnte. Um schon vorab zu klären, inwiefern gewisse Ideen ein Potential innehaben das Richten der Stifte zu ermöglichen, wurden diese schon relativ früh einer Prüfung unterzogen.

Im ersten Unterkapitel werden die Idee und die Umsetzung des Richtens mittels verstellbaren Matrizen untersucht. Anschließend wird das Richten der Drahtstifte mit Hilfe von Richtrollen im Detail analysiert. Schlussendlich soll eine Kombination aus beiden Ideen untersucht werden, die sich auch im Wesentlichen an das Verfahren des Walzrichtens anlehnt und sich den Vorgang in abgeleiteter Form zu Nutze macht. Das Unterkapitel 5.2 befasst sich abschließend genauer mit jenem Richtverfahren, welches aufgrund der Vorversuche ausgewählt wurde. Hier gilt es vor allem – mangels geeigneter Berechnungsformeln – die optimalen Parameter empirisch zu ermitteln, um auf Grundlage dessen zu zeigen, wie die optimale Richtwerkzeug-Geometrie aussehen muss. Dazu wird ein Prototyp vorgestellt, der als Versuchsaufbau dient, um diese Untersuchungen zu ermöglichen. In Bezug auf Methodik und Darstellung ist darauf hinzuweisen, dass zum besseren Verständnis und zum einfacheren Erkennen der Geometrie in den folgenden Abschnitten weitgehend Bilder der 3D-Modelle, anstatt Fotografien des Originals gezeigt werden.

### 5.1 Erste Versuche

Die ersten Versuche, welche vor dem eigentlichen Beginn des praktischen Teils dieser Arbeit durchgeführt wurden, sollten zeigen ob die einzelnen Ansätze zum Richten der Drahtstifte überhaupt entsprechendes Potential aufzeigen. Somit sollten für weitreichendere Untersuchungen jene Möglichkeiten gewählt werden, die am vielversprechendsten sind. In den nachfolgenden Abschnitten werden die eigenständigen Ideen in Kürze erläutert und ihre Vor- und Nachteile benannt.

#### 5.1.1 Drahtstiftaufnahme

Um die Stifte möglichst schonend richten zu können ist es zunächst notwendig eine Stiftaufnahme zu konstruieren, da das Festhalten mit einer Zange oder ähnlichen Werkzeugen unweigerlich die Zerstörung der zu richtenden Stifte zur Folge hat. Aufgrund der Möglichkeit mit Hilfe von 3D-Druckern über die FH-Campus02 Werkzeuge herzustellen, wurde die Drahtstiftaufnahme wie auch viele weitere Werkzeuge mit dem Stereolithographie-Verfahren hergestellt. Als Material wird dabei Clear Photoreactive Resin von

Formlabs® verwendet, das sich aus einer Mischung aus Methacrylsäureestern und Photoinitiatoren zusammensetzt.

Die Aufnahme dient zunächst vor allem dazu, das Richten mehrerer Stifte gleichzeitig zu ermöglichen sowie die Durchführbarkeit zu überprüfen und um zu zeigen, wie eine adäquate Aufnahme für den Prototyp aussehen könnte. Um den Fertigungsaufwand möglichst gering zu halten, wurde die Entscheidung getroffen, dass nur eine Aufnahmevorrichtung hergestellt wird, die es ermöglicht alle Nietstiftfabrikate gleichermaßen aufzunehmen, wenngleich der Aufnahmedurchmesser klarerweise an das größte Nietstiftmodell angepasst werden musste. Wie aus Abb. 23 ersichtlich wird, ist die Drahtstiftaufnahme zweiteilig ausgeführt und wurde geometrisch so konstruiert, dass die Möglichkeiten der additiven Fertigung optimal ausgenutzt werden können.

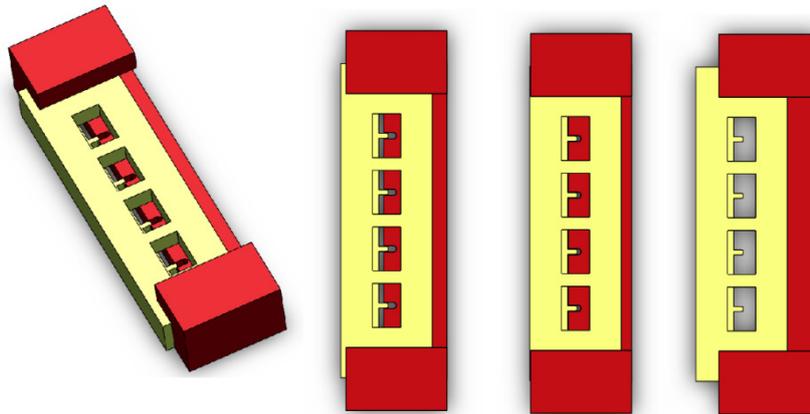


Abb. 23: Drahtstiftaufnahme in isometrischer Ansicht, im offenen Zustand bereit zur Nietstiftzuführung, im geklemmten Zustand und nach Durchführung des Richtprozesses, wodurch die Stifte ausgeworfen werden, Quelle: Eigene Darstellung.

Die zweiteilige Ausführung ermöglicht es, dass die eingebrachten Stifte in der Vorrichtung durch das gegeneinander Verschieben der beiden Teile geklemmt werden. Nach Abschluss des Richtprozesses, ist es so möglich durch eine Verschiebung in die Gegenrichtung die eingeführten Nietstifte auszuwerfen und für eine neue Bestückung vorzubereiten. Schon bei den ersten praktischen Versuchen zeigt sich, dass die Nietstiftaufnahme die Stifte gut festhalten kann und den auftretenden Belastungen gewachsen ist. Als großer Nachteil dieser Konstruktion hat sich jedoch die vergleichsweise schwierige Einführung der verbogenen Stifte erwiesen. Aus diesem Grund wurde das Design für den Prototyp auch etwas angepasst, wie in Abschnitt 5.2.1 zu sehen ist.

### 5.1.2 Matrizenrichten

Das Prinzip des Richtens mit Hilfe von Matrizen basiert im Grunde genommen auf zwei wesentlichen Fundamenten. Zum einen liegen bereits theoretische Vorkenntnisse zum Thema Drahtziehen vor und zum anderen wird der händische Richtvorgang einer genauen Analyse unterzogen. Es stellte sich die Frage, ob der auch in Abschnitt 3.2.4 diskutierte Drahtziehprozess für die vorliegende Aufgabenstellung so adaptiert werden könnte, dass der Draht zwar nicht verjüngt wird, jedoch eine plastische Formänderung erfährt, sodass dieser die gewünschte gerade Geometrie erhält. Dafür ist es zunächst notwendig die Richtmatrize derart zu gestalten, dass diese linear verschoben werden kann, damit der Matrizendurchmesser variabel gestaltet werden kann. So ist es möglich die zu richtenden Stifte ohne

Aufwand einzufädeln und in Position zu bringen. Da naturgemäß auch die Wirtschaftlichkeit der Anlage eine Rolle spielt, wurde die Matrize außerdem so gestaltet, dass versuchsweise ein Richten von mehreren Stiften mit einer Matrize ermöglicht wird.

Abb. 24 zeigt ein 3D-Modell der Richtmatrize und veranschaulicht die beiden Matrizenpositionen. Die beiden Richtmatrizen sind so konstruiert, dass zwischen den beiden Richtwerkzeugen ein möglichst geringes Spiel herrscht. Ebenso wie die Nietstiftaufnahme wurde das erste Werkzeug mit einem 3D-Drucker hergestellt. Zwar zeigen die beiden Werkzeugteile ein einigermaßen großes Spiel von mehr als 0,2 mm, für eine erste Abschätzung des Potentials ist dieser Umstand jedoch nicht hinderlich.

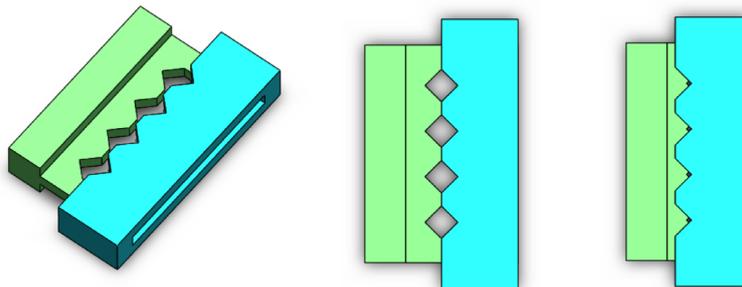


Abb. 24: Richtmatrize in isometrischer Ansicht, in offenem und in geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung.

Als problematisch erwies sich bei den ersten Versuchen aber, dass der Mittelpunkt der Matrizenaufnahme und der Mittelpunkt der Drahtstiftaufnahme um einige Millimeter versetzt waren. Dies führte dazu, dass den Stiften beim Richten automatisch eine Biegung aufgezwungen wird, man also unter keinen Umständen gerade gerichtete Stifte erhält. Ein weiteres Problem bestand darin, dass bei den ersten Versuchen die Matrize beim Richten nicht linear geführt wurde, weshalb es zusätzlich zu nicht zufriedenstellenden Ergebnissen kam. Wie Abb. 25 verdeutlicht, wurde dieses Problem in sehr einfacher Weise beseitigt und zwar indem einfach eine kleine primitive Linearführung aus Stahl angefertigt wurde, womit nun die ersten Versuche mit einem zumindest eingeschränkt aussagekräftigen Ergebnis durchgeführt werden konnten.

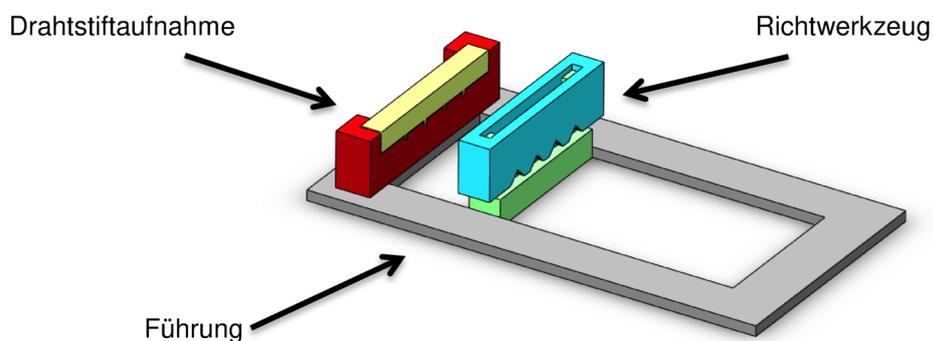


Abb. 25: Nietstiftaufnahme und Matrize in einfacher Platte linear geführt, Quelle: Eigene Darstellung.

Zunächst wurden die größten Nietstifte mit einer Länge von 80 mm und einem Durchmesser von 0,8 mm einigen Versuchen unterzogen, wobei zu Beginn Stifte nur vereinzelt dem Richtverfahren zugeführt wurden. Die ersten Ergebnisse waren hierbei positiv und es bestätigte sich, dass die Stifte – wenn auch noch nicht optimal – einigermaßen gerade gerichtet wurden. Teilweise war es jedoch nötig den Richtvorgang mehrere Male zu wiederholen, um ein ansprechendes Ergebnis zu erhalten. Aufgrund der Tatsache, dass die Richtmatrize nur mit der Hand mit Druck beaufschlagt wurde und auch die lineare Bewegung nicht spielfrei durchgeführt werden konnte, kam es natürlich immer noch zu Verbiegungen, auch wenn das Verfahren ein entsprechendes Potential aufzeigte. Anschließende Versuche mehrere Stifte gleichzeitig zu richten zeigten, dass meist nur ein Stift gerichtet wurde. Dies kann sicherlich auch mit der noch nicht exakten Fertigung des Richtwerkzeuges und der nur eingeschränkt genauen Führung des Werkzeuges begründet werden. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass auch bei exakter Fertigung der Teile, aufgrund unterschiedlicher Abnutzung des Werkzeuges nach einiger Zeit, ein Richten mehrerer Stifte mit nur einem Werkzeug nicht zielführend ist. Der Vorteil mehrere Stifte gleichzeitig mit nur einem Werkzeug richten zu können, würde so immer zulasten des Richtergebnisses gehen.

### 5.1.3 Walzrichten

Die Idee die Richtaufgabe mit Hilfe von Rollen zu bewerkstelligen, lehnt sich an das Walzrichtverfahren an. Grundsätzlich wurden Überlegungen angestellt wie diese Art des Richtens für die Aufgabenstellung adaptiert werden könnte. Eine erste Idee wurde konstruktiv so umgesetzt, dass die zu richtenden Stifte mit Hilfe einer Richtzange wie diese in Abb. 26 zu sehen ist, versuchsweise gerichtet werden, wobei mehrere Richtrollen hintereinander den Richtprozess entsprechend verbessern sollten. Dabei zeigten sich aufgrund der wenig fertigungsfreundlichen Konstruktion schon bei der Herstellung des Richtwerkzeuges erhebliche Probleme.

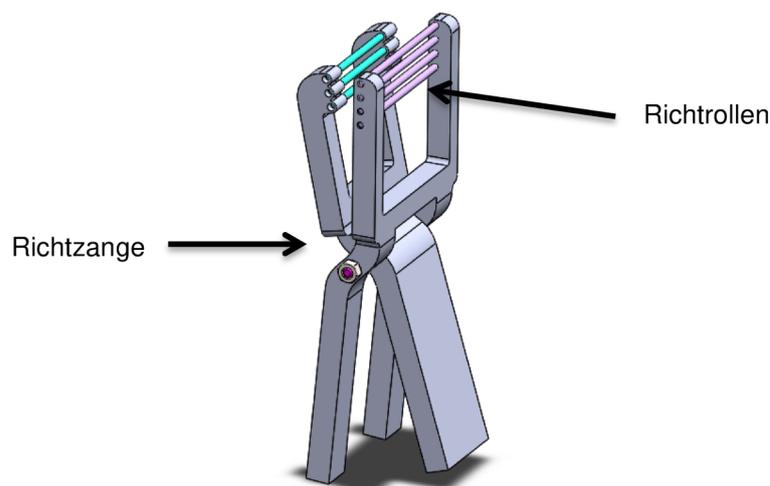


Abb. 26: Erstes Rollenrichtkonzept, Quelle: Eigene Darstellung.

Aufgrund der relativ großen Bohrungsabstände von mehr als 40 mm bei einem Durchmesser von 3 mm entsprach die Bohrungsflucht nicht den gesetzten Anforderungen. Somit sind die einzelnen Richtrollen nicht in exakt paralleler Lage und auch die Abstände der Rollen sind nicht gleichmäßig. Dies führte zu der Schlussfolgerung, dass das erste Rollenrichtwerkzeug keinesfalls für eine ausreichende Beurteilung der

Möglichkeiten des Walzrichtens geeignet war. Die Versuchsanordnung hat dennoch ihre Berechtigung, denn einerseits ist durchaus ein gewisses Potential für die Lösung der Problemstellung zu erkennen und andererseits wurde ein grundsätzliches Problem offenkundig. Schon bei dem wenig zufriedenstellenden Versuchsaufbau zeigte sich, dass die zu richtenden Drahtstifte nur in einer räumlichen Ebene gerichtet werden. Diese Problematik sollte zusätzlich im nächsten Versuchsaufbau beachtet werden. Man wäre ansonsten immer gezwungen die Stifte nach ihrer größten Biegung auf die Richtrollen auszurichten. Alleine aufgrund der filigranen Stiftgeometrie ist dies nicht praktikabel.

Der neue Versuchsaufbau wurde sehr einfach ausgelegt und derart gestaltet, dass alle Teile mechanisch so bearbeitet wurden, dass diese innerhalb einer Toleranz von 0,1 mm lagen. Außerdem wurde, aufgrund der Erkenntnisse die bereits aus dem Matrizenrichten in Abschnitt 5.1.2 erlangt werden konnten, darauf verzichtet mehrere Stifte gleichzeitig richten zu wollen, wodurch die Umsetzung erleichtert wurde. Es wurden insgesamt sechs Rollenträger gefertigt um insgesamt drei Richtrollen mit einem Durchmesser von 5 mm aufnehmen zu können. Die Löcher zur Aufnahme der Rollen wurden, um eine notwendige hohe Genauigkeit zu erreichen, zunächst vorgebohrt und anschließend mittels einer Reibahle ausgerieben. Das Spiel zwischen Richtrollen und Aufnahme betrug somit weniger als 0,05 mm und sollte jedenfalls ausreichend gering für eine Analyse sein. Um das Richten in nur einer Ebene zu unterbinden und somit das Richten in zwei Raumrichtungen zu ermöglichen, wurden kegelige Eindrehungen an den Rollen vorgesehen, damit die Drahtstifte in diesen geführt sind. Die Rollenaufnahmen wurden aus Baustahl gefertigt, wohingegen die Rollen aus Messing gefertigt wurden, um ein leichteres Gleiten in den Aufnahmen zu gewährleisten. In Abb. 27 ist der Aufbau schematisch dargestellt. Um Zeit und Kosten zu sparen wurde keine eigene Vorrichtung zum Fixieren und Einstellen der Teile gefertigt. Das Arrangieren der einzelnen Richtrollenträger wurde mittels Maschinen-Schraubstock und Schraubzwingen vorgenommen.

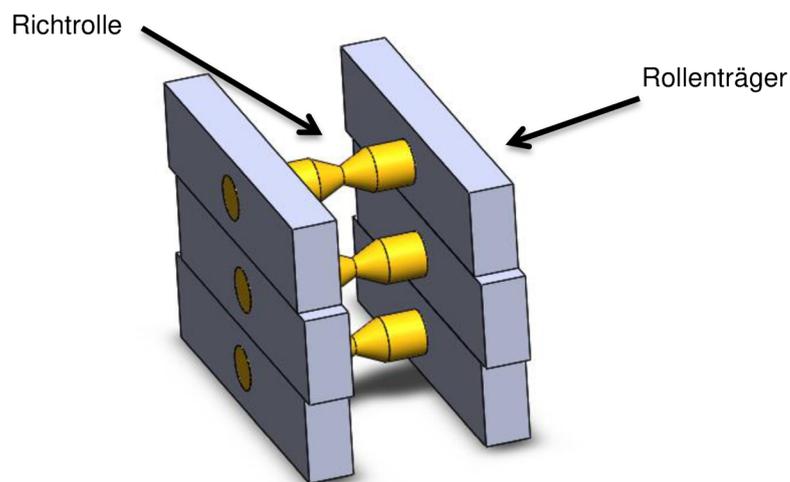


Abb. 27: Zweites Rollenrichtkonzept, Quelle: Eigene Darstellung.

Beim Aufbau zeigte sich, dass das Einstellen der jeweiligen Rollen zueinander relativ aufwendig war, da keine weitere Vorrichtung für den Versuch gefertigt wurde. Nachdem die Teile adäquat justiert wurden, konnten die ersten Versuche durchgeführt werden. Die Ergebnisse waren wiederum nur eingeschränkt zufriedenstellend, da aufgrund des relativ geringen Anpressdrucks zwischen Richtgut und Richtwalzen

sich diese nicht drehen und folglich eine reine Gleitreibung zwischen den Nietstiften und den Rollen auftrat. Die zusätzliche Eindrehung sorgte zumindest dafür, dass die Stifte in beiden Raumrichtungen gerichtet wurden, wenngleich das Richterergebnis weniger zufriedenstellend ausfiel im Vergleich zum Matrizenrichten. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Abstände der unterschiedlichen Walzen konstruktionsbedingt nicht ausreichend nahe aneinander gebracht werden können. Der Grund dafür liegt darin, dass die Konstruktion damit sehr instabil werden würde, wollte man die Walzen noch entscheidend näher aneinander bringen. Zusätzlich sorgt die essentielle kegelige Eindrehung an jeder Walze für eine weitere Distanzierung der Rollen zueinander, weil für diese Eindrehung ein entsprechender Rollendurchmesser erforderlich ist. Abb. 25 zeigt eine Schnittdarstellung, welche die Problematik der sehr weit voneinander entfernten Walzen aufzeigt. Der gesamte Aufbau der Walzrichteinheit hat eine Gesamthöhe von 30 mm.

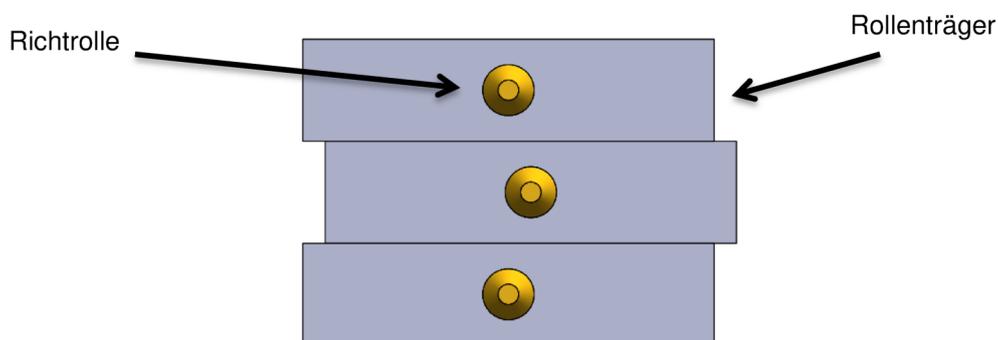


Abb. 28: Schnittdarstellung des zweiten Walzrichtkonzeptes um die großen Abstände zueinander besser sichtbar zu machen, Quelle: Eigene Darstellung.

### 5.1.4 Matrizenrichten mit Walzrollengeometrie

Durch die Erkenntnisse welche beim Verfassen des theoretischen Teils dieser Arbeit gewonnen wurden, entstand die Idee den Walzrichtprozess nachzubilden und für diese Aufgabe zu adaptieren, wie schon der vorangegangene Abschnitt zeigte. In diesem Abschnitt soll nun der letzte durchgeführte Versuch im Fokus der Betrachtung liegen, welcher ohne die Verwendung einer grundsätzlich notwendigen Apparatur durchgeführt wurde. Wie in den vorangegangenen Abschnitten steht auch hier zunächst vor allem die Abschätzung des Potentials im Zentrum der Auseinandersetzung.

Betrachtet man die Situation näher, handelt es sich bei dieser Idee um eine Kombination zwischen dem Matrizenrichten und dem Walzrichten aus dem vorhergehenden Abschnitt. Es wurde somit versucht die beiden Vorteile unterschiedlicher Verfahren zu kombinieren. Das Walzrichten sollte zumindest hinsichtlich der geometrischen Form beim Matrizenwerkzeug nachgebildet werden um die notwendigen Wechselbiegungen einfacher umzusetzen, wobei hier mehrere Unterschiede zum gewöhnlichen Walzrichten festgestellt werden können. Gleichzeitig sorgt die grundlegende Form des Werkzeuges aus Abschnitt 5.1.2 dafür, dass die Stifte in beiden Dimensionen gerichtet werden, wie dies bei einem gewöhnlichen Walzrichtvorgang so nicht möglich wäre.

Aufgrund der sehr kurzen Stifte und dem Kopf auf einer Seite, kann der Richtvorgang jedoch nicht über die gesamte Länge durchgeführt werden. Dies führt auch zu der Tatsache, dass eine abnehmende Zustellung der Richtgeometrie – wie dies beim Walzrichten generell üblich ist – nicht möglich ist. Es muss also dafür gesorgt werden, dass mit nur drei Matrizen ein einwandfreies Ergebnis erzielt werden kann. Zusätzlich besteht der Nachteil der Gleitreibung zwischen dem Richtwerkzeug und dem Richtgut, wodurch eine Beschädigung der Drahtstiftoberfläche beim Einsatz härterer Richtwerkzeugmaterialien wahrscheinlicher wird. Umgekehrt ist der Einsatz von zu weichen Richtwerkzeugmaterialien hinsichtlich der Standzeit sehr problematisch, da diese entsprechend schnell verschleifen und nachjustiert oder gar ausgetauscht werden müssen. In Abb. 29 ist der Unterschied zwischen dem üblichen Walzrichten von Blechen und dem adaptierten Verfahren zu sehen. Insbesondere wird deutlich, dass beim adaptierten Verfahren aufgrund des vorhandenen Stiftkopfes das Richten in entgegengesetzter Richtung durchgeführt wird.

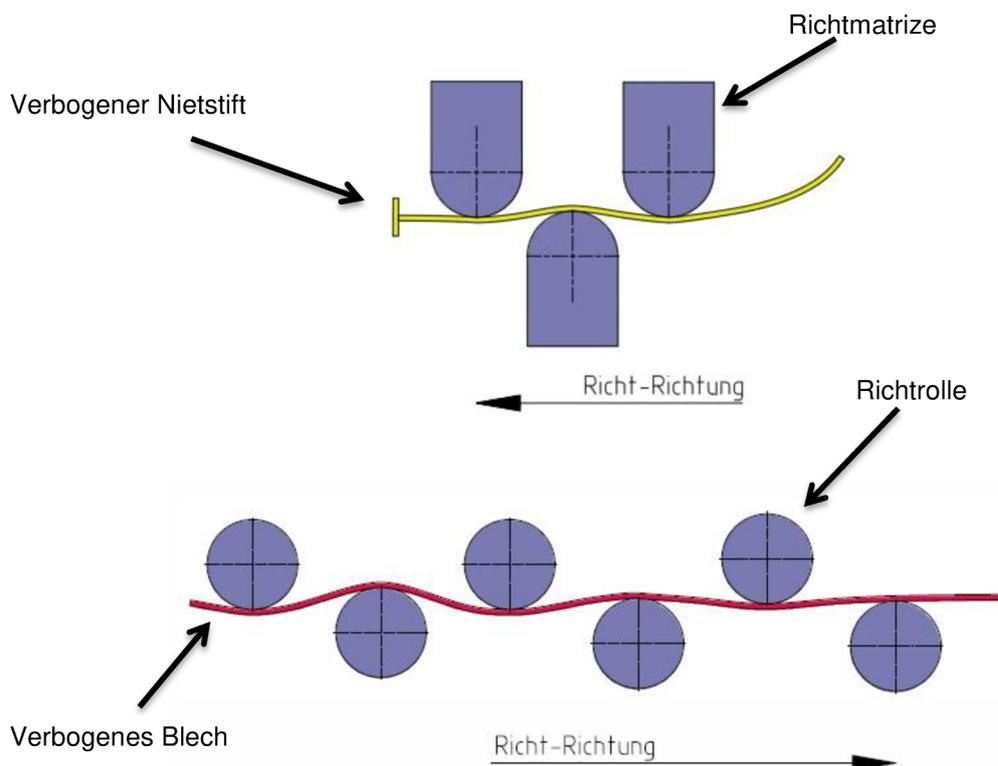


Abb. 29: Vergleich zwischen dem in der Industrie häufig angewandten Walzrichten und dem adaptierten Verfahren für diese Arbeit, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei dem Design der Richtwerkzeuge wird versucht die geringe Genauigkeit zwischen den beiden Matrizenanteilen im Vergleich zum Werkzeug aus Abschnitt 5.1.2 zu verbessern, indem grundsätzlich die Abmessungen genauer festgelegt wurden und außerdem die Führungsgeometrie zwischen den beiden Hälften verbessert wurde. Aufgrund der vorhandenen Fertigungstoleranzen wurde jedoch eine umfangreiche Nachbearbeitung notwendig, da ein gegeneinander Verschieben der beiden Teile anfangs nicht möglich war. Im Allgemeinen wurden die Außenabmessungen beibehalten, um die Nietstiftaufnahme sowie die Führung aus den vorhergehenden Versuchen verwenden zu können. In Abb. 30 ist das Modell des Richtwerkzeuges dargestellt. Für die Versuche wurden außerdem zwei

unterschiedliche Werkzeuge gefertigt, um festzustellen, ob die geringfügig andere Geometrie Auswirkungen auf das Richtergebnis hat. Die beiden Werkzeuge unterschieden sich dabei sowohl in den unterschiedlichen Abständen zueinander und in dem Richtradius des Werkzeuges.

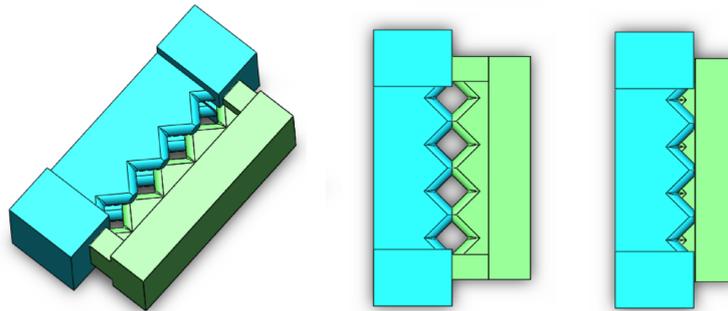


Abb. 30: Walzrichtmatrize in isometrischer Ansicht, in offenem und in geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung.

Im Vergleich zu dem Matrizenrichtwerkzeug in Abschnitt 5.1.2 unterscheidet sich das Werkzeug hinsichtlich seiner Geometrie darin, dass diese den Richtwalzen nachempfunden ist. In Abb. 31 ist der Unterschied zwischen den beiden Richtgeometrien in der Schnittansicht dargestellt. Die dem Rollenrichten nachempfundene Geometrie zeigt dabei deutlich, dass hier die notwendigen Wechselbiegungen zum Richten der Stifte entsprechend ausgeprägt sind. Im Gegensatz dazu werden die Stifte bei der Richtmatrize im Wesentlichen durch die geraden Flächen geklemmt.

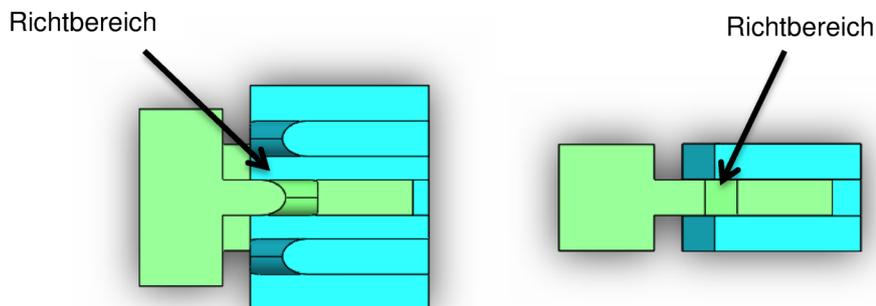


Abb. 31: Vergleich zwischen der Matrizengeometrie auf der rechten Seite und der dem Rollenrichten nachempfundenen Geometrie auf der linken Seite, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei den durchgeführten Versuchen zeigte sich eine geringfügige Verbesserung gegenüber den allerersten Richtversuchen mit den gewöhnlichen Matrizen. Es muss an dieser Stelle aber dennoch ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass kaum aussagekräftige Ergebnisse zur Tauglichkeit des Verfahrens vorliegen, da der Vorgang nur unter Zuhilfenahme einer einfachen Führung, entsprechend den vorangegangenen Richtversuchen, durchgeführt werden kann. Aus diesem Grund ist es in weiterer Folge notwendig, mit Hilfe einer geeigneteren Versuchsvorrichtung, also einem Prototyp, genauere Untersuchungen durchzuführen, um die Verwendbarkeit und die optimale Geometrie aus wissenschaftlicher Sicht zu ermitteln.

## 5.2 Prototyp

Da sich bei den ersten Versuchen, die der grundlegenden Abschätzung der Tauglichkeit der Verfahren diente, herausstellte, dass sich mit der Kombination aus dem Matrizenrichten und dem Walzrichten die besten Ergebnisse erzielen lassen, gilt es eben diesen Ansatz weiterzuentwickeln. Es wird dabei, wie auch zu Beginn bei der Aufgabenstellung klar als Ziel formuliert, nun nur noch ein Stift gerichtet. Dies ergibt sich aus den Erfahrungen der bereits durchgeführten Richtversuche, welche ausdrücklich zeigen, dass ein Richten mehrerer Stifte gleichzeitig mit einem Richtwerkzeug in den meisten Fällen auf Kosten des Richtergebnisses geht. Da das Richtwerkzeug im Wesentlichen nur eine Anlehnung an das Walzrichten darstellt, ist eine Berechnung der optimalen Geometrie, wie dies bei Walzrichtmaschinen durchgeführt wird, unter der Berücksichtigung eines vertretbaren Aufwands, nicht möglich. Wie bereits im theoretischen Teil ausführlich erläutert, hängen entsprechende Berechnungen von vielen unterschiedlichen Parametern ab. Bereits ausschließlich aufgrund der Tatsache, dass weder weiterführende Informationen zur chemischen Zusammensetzung der Drahtstifte noch Angaben über die Streckgrenze der Werkstoffe zur Verfügung stehen, ist es nicht möglich aussagekräftige Berechnungen durchzuführen. Weiters sind Zustellung und Walzenabstände auch in wesentlichem Ausmaß abhängig von der Belastbarkeit des Werkzeuges. Da die Richtwerkzeuge über eine relativ komplexe Geometrie verfügen, wären aufwendige Finite-Elemente-Berechnungen notwendig, um die tatsächliche Belastbarkeit zu ermitteln. Aus diesen Gründen ist es weiterführend notwendig, die optimale Richtwerkzeuggeometrie durch Versuche zu ermitteln.

Um die bestmögliche Geometrie zu definieren, ist es essentiell die entscheidenden Fehlerquellen aus den ersten Richtversuchen weitestgehend zu eliminieren und so die Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse zu gewährleisten. Im Folgenden wird deshalb ein Prototyp vorgestellt, der die Fehlerquellen auf ein Minimum reduziert. Da die Richtwerkzeuge und die Stiftaufnahme nur händisch bewegt, beziehungsweise festgehalten werden konnten, kam es alleine deshalb schon zu Unregelmäßigkeiten. Am entscheidendsten dürfte sich aber das händische Gegeneinander-Verschieben der Richtwerkzeuge ausgewirkt haben. Aufgrund dessen kam es immer zu unterschiedlichen Kräften, mit welchen die Richtwerkzeuge und in weiterer Folge das Richtgut beaufschlagt wurden. Durch ein fixes Einspannen der Werkzeuge auf einer Halterung kann dem entgegengewirkt werden, wie in Abschnitt 5.2.3 ausführlich dargelegt wird. Zusätzlich zur Vermeidung der negativen Einflüsse galt es außerdem den Versuchsaufbau so zu gestalten, dass dieser die unterschiedlichsten Richtwerkzeuge aufnehmen kann und die verschiedenen Versuche einfach durchgeführt werden können. In den nun folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Komponenten des Versuchsaufbaus beschrieben und abschließend der komplette Prototyp vorgestellt.

### 5.2.1 Deckplatte mit Nietstiftaufnahme

Nicht nur die Tatsache, dass bei dem flexiblen Versuchsaufbau nur noch ein einziger Stift gerichtet wird, machte ein neues Design der Nietstiftaufnahme notwendig. Da die Handhabung bei den vorhergehenden Versuchen zeigte, dass sich das Einführen der Stifte in die Aufnahme als schwierig und umständlich gestaltete, wurde auch die grundsätzliche Geometrie der Aufnahme überarbeitet. Ein weiteres Merkmal der neuen Stiftaufnahme ist, dass die beiden Teile, die sich gegeneinander verschieben lassen und damit

den Stift festhalten, federbelastet schließen. Dadurch ist ein rasches Arbeiten mit der Aufnahme auf jeden Fall gewährleistet und die Vorrichtung ist wie gewünscht in geschlossenem Ausgangszustand. Außerdem ist die Aufnahme so gestaltet, dass sie über einen kleinen Griff verfügt, der das Verschieben gegen die Feder vereinfacht, wie Abb. 32 zeigt. Wie schon die zu Beginn von Kapitel 5 des praktischen Teils vorgestellte Stiftaufnahme, wurden auch hier beide Teile mittels additiver Fertigungsverfahren verwirklicht.

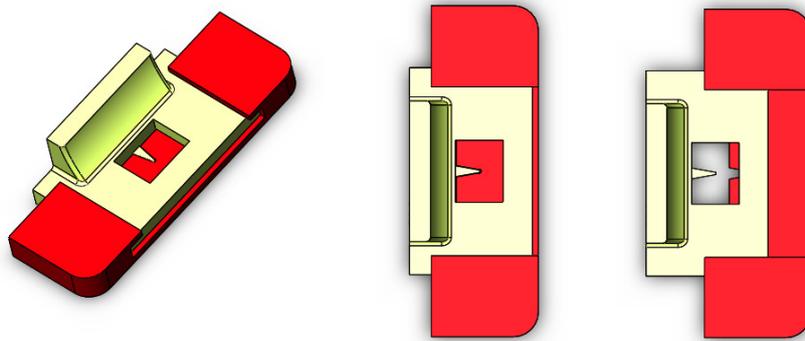


Abb. 32: Nietstiftaufnahme in isometrischer Ansicht, in geschlossenem und in offenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung.

Durch das Zurückschieben des in der Abbildung dargestellten gelben Teils gegen die beiden Federn wird die konische Öffnung in der Mitte vergrößert, wodurch ein verbogener Stift einfacher zugeführt werden kann, da das Einfädeln nun weniger Präzision erfordert als bei der ersten Stiftaufnahme. Wird nach Einführung des Stifts nun der federbelastete Teil losgelassen, schließt sich die Nietstiftaufnahme und der Stift wird darin fixiert. Wird nun der Richtvorgang ausgeführt, wird der Drahtstift dabei aufgrund der Belastung der Federn, immer festgehalten. Nach Abschluss des Richtprozesses wird der bewegliche Teil der Nietstiftaufnahme wieder nach links bewegt, wodurch der nun gerichtete Stift verschoben wird und dann durch die Öffnung hindurchfällt. Anschließend kann der Prozess erneut mit dem Einlegen eines zu richtenden Drahtstiftes begonnen werden.

Um die Nietstiftaufnahme adäquat an dem Versuchsaufbau zu fixieren, war es im nächsten Schritt erforderlich, eine Platte zu konstruieren die dies ermöglicht. Diese Deckplatte stellt dabei den obersten Teil des Apparates dar. Damit möglichst wenig von der zu richtenden Länge durch die Nietstiftaufnahme und die Deckplatte verdeckt werden, war es notwendig eine Tasche in der Deckplatte vorzusehen. Dadurch kann die Drahtstiftaufnahme möglichst weit in der Deckplatte versenkt werden und der Abstand zum Richtwerkzeug wird minimiert. Zusätzlich ist so gewährleistet, dass die Nietstiftaufnahme passgenau befestigt werden kann. Die Befestigung dieser erfolgte im vorliegenden Fall mittels eines Universalklebers. Von einer Schraubverbindung wurde deshalb abgesehen, weil diese mit einer Mutter an der Unterseite hätte gesichert werden müssen. Der große Nachteil ist offenkundig, dass die Richtwerkzeuge nicht mit minimalem Abstand unterhalb der Deckplatte platziert werden können. Abb. 33 zeigt die auf der Deckplatte aufgeklebte federbelastete Nietstiftaufnahme. Die beiden Bohrungen dienen dazu, diese mit dem Rest des Versuchsaufbaus verbinden zu können.

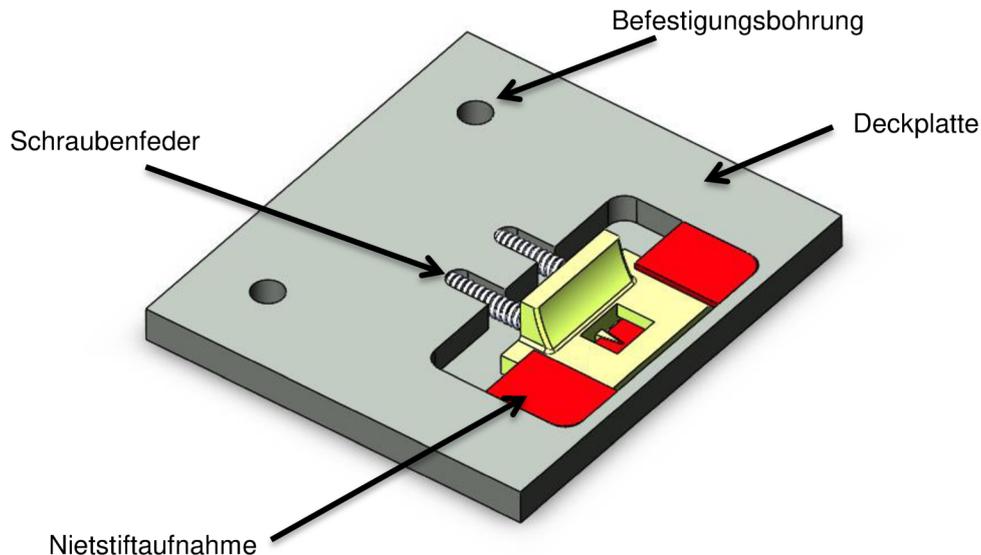


Abb. 33: An der Deckplatte befestigte Nietstiftaufnahme, Quelle: Eigene Darstellung.

Wie alle nachfolgenden zu bearbeitenden Teile, ist auch die Deckplatte aus 10 mm starkem Aluminium gefertigt, um eine einfachere Bearbeitung zu ermöglichen. Damit die Fertigung möglichst rasch erfolgen konnte wurde diese mit Hilfe einer Wasserstrahl-Abrasiv-Schneidanlage vorgeschritten. Da alle Komponenten möglichst exakt zueinander ausgerichtet werden müssen, damit die Richtwerkzeuge mit hoher Genauigkeit positioniert werden können, wurde die Platte neben der Tasche zur Nietstiftaufnahme an allen vier Seiten auf Maß gefräst.

## 5.2.2 Richtwerkzeuge

Wie auch bei der im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Nietstiftaufnahme musste auch das Richtwerkzeug, die sogenannte Matrize, hinsichtlich seiner Geometrie angepasst werden, da nun wie bereits erwähnt der Fokus auf dem Richten einzelner Stifte liegt. Zu diesem Zweck wurde das Design so abgeändert, dass die Richtwerkzeuge auf einer Matrizenaufnahme, welche im nächsten Abschnitt vorgestellt wird, befestigt werden können.

Da es mit Hilfe des Versuchsaufbaus zu ermitteln gilt, welche Geometrie sich als am geeignetsten für den Richtprozess herausstellt, wurden unterschiedliche Richtwerkzeugdicken konstruiert. Neben der Stärke der Richtwerkzeuge unterscheiden sich diese nur durch den Radius an der Richtfläche, welcher sich aus der Halbierung der Plattendicke ergibt. Da das Richtergebnis nicht ausschließlich von der Form des Richtwerkzeuges, sondern auch von den Abständen der Richtwerkzeuge zueinander abhängig ist, wurden zusätzlich Distanzplättchen gestaltet, die eine Dicke von 0,5 mm bis 5 mm aufweisen. Dies ermöglicht es, unterschiedlichste Abstände für die Versuche zu definieren, um deren Auswirkungen auf das Ergebnis zu dokumentieren. Die Tatsache dass die Richtwerkzeuge als auch die Unterlegeplatten über Langlöcher verfügen, ist der Notwendigkeit geschuldet diese in Längsrichtung verschiebbar zu machen. Der Grund hierfür liegt in der letzten großen Auswirkung auf das Richtergebnis, nämlich der Zustellbewegung. Die Langlöcher erlauben es, die Zustellbewegung zu justieren um die Konsequenzen

auf das Richtergebnis zu untersuchen. Abb. 34 zeigt ein einzelnes Richtwerkzeug in isometrischer und geschnittener Ansicht.

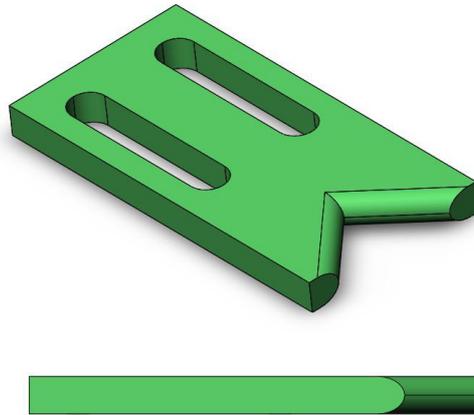


Abb. 34: 3D-Modell einer 5 mm starken Matrize in isometrischer Ansicht und in Schnittdarstellung, Quelle: Eigene Darstellung.

Aufgrund der komplexen Geometrie wurden auch diese Teile mit Hilfe des Stereolithographie-Verfahrens gefertigt. Es ist in Abb. 34 außerdem gut die runde Geometrie zu erkennen, wodurch das Walzenrichten nachgeahmt wird. In Abb. 35 sind die unterschiedlich gefertigten Richtwerkzeuge mit einer Werkzeugdicke von 7 mm bis 2 mm zu sehen, wobei die Dicke jeweils um 1 mm abnimmt.

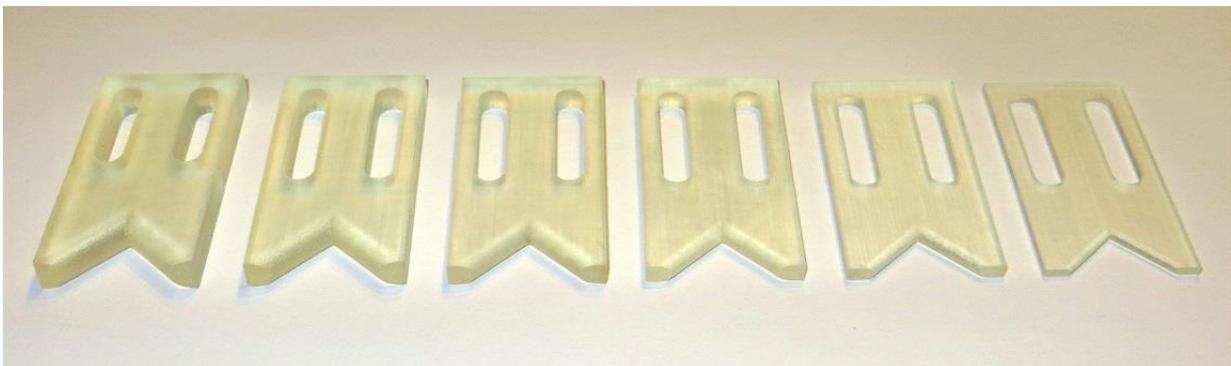


Abb. 35: Mit 3D-Druck hergestellte Richtmatrizen mit einer Dicke von 7 mm bis 2 mm, Quelle: Eigene Darstellung.

### 5.2.3 Richtschlitten und Werkzeugaufnahme

Für das Richten der Drahtstifte wurde ein Richtschlitten konstruiert, der gewährleistet, dass eine möglichst spielfreie lineare Bewegung durchgeführt werden kann. Um dies sicherzustellen wird eine fertige Linearführung der Firma igus<sup>®</sup> verwendet und auf ein Aluminiumprofil der Firma Robotunits<sup>®</sup> aufgeschraubt, wie später in Abschnitt 5.2.4 noch genauer erläutert wird. Dies hat neben der verlässlichen Exaktheit der Bauteilgeometrie den Vorteil, dass der Richtschlitten sehr genau geführt ist. Da die zu kaufenden Komponenten nicht ohne weitere selbst zu fertigenden Teile dafür geeignet sind die Richteinheit aufzunehmen, mussten entsprechende Teile konstruiert und gefertigt werden. Abb. 36 zeigt die Verbindungsstruktur welche eine Verbindung zwischen dem Schlitten der Firma igus<sup>®</sup> und der Richtplatte ermöglicht. Es handelt sich dabei um eine Aluminium-Schweißbaugruppe, deren Einzelteile mittels Wasserstrahl-Abrasiv-Schneidanlage vorgeschritten wurden. Die zu sehenden Langlöcher

wurden dabei bereits auf Maß geschnitten, da aufgrund großzügiger Toleranzen, keine exakten Maße gefordert sind. Die Deckplatte wurde mit Hilfe von zwei Stützblechen an der Unterseite verstärkt, um eine notwendige Stabilität zu erlangen.

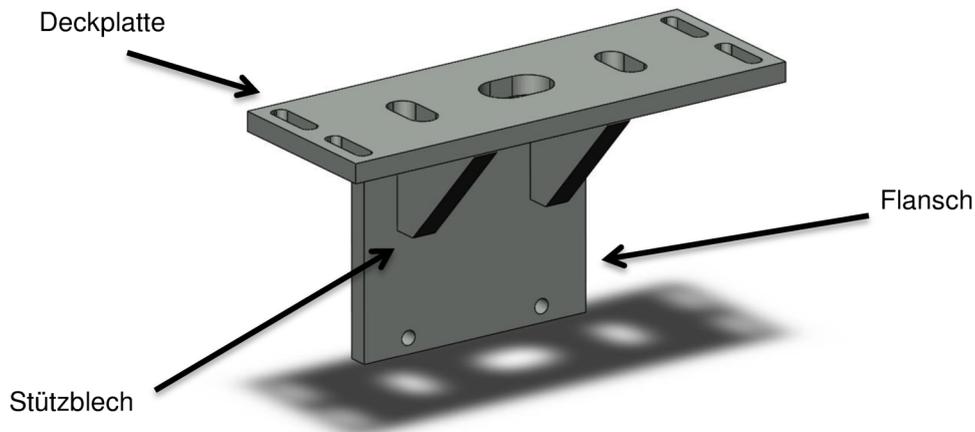


Abb. 36: Verbindungsstruktur zwischen dem Schlitten und der Richtplatte, Quelle: Eigene Darstellung.

Nach dem Zusammenschweißen war es aufgrund des starken Verzugs eben durch das Schweißen im nächsten Schritt notwendig, die rechtwinkelig zueinanderstehenden Platten plan zu fräsen, damit diese exakt einen rechten Winkel bilden. Um in weiterer Folge beim Zusammenbau des gesamten Versuchsaufbaus ein exaktes Einstellen durchführen zu können, wurde die Deckplatte an allen vier Seiten abgefräst. Damit die Werkzeuge ordnungsgemäß aufgespannt werden können und auch die Position zur Stiftaufnahme exakt eingerichtet werden kann, wurde noch eine weitere Platte gefertigt, die die Matrizen aufnimmt.

Die unausweichlichen Fertigungsabweichungen der einzelnen Bauteile machten es notwendig eine Werkzeugaufnahme herzustellen, die als Verbindungsglied zwischen den Richtwerkzeugen und dem Richtschlitten dient. Wie in Abschnitt 5.2.5 noch näher beschrieben wird, können so alle Bauteile sehr genau zueinander ausgerichtet werden. Die Aluminiumplatte wurde ebenfalls zuerst vorgeschritten und anschließend mit dem Ziel eine hohe Maßhaltigkeit zu erreichen, auf einer Fräsmaschine fertig bearbeitet. Wie in Abb. 37 zu sehen ist, verfügt sie an beiden Seiten über Langlöcher um den Schubstangenspanner, zum Verschieben der Matrizen, in Position zu bringen. Die kleinen Bohrungen dienen der Befestigung der Matrizenaufnahme, wohingegen das große Langloch in der Mitte gewährleistet, dass die längeren Drahtstifte mit der Platte nicht kollidieren.

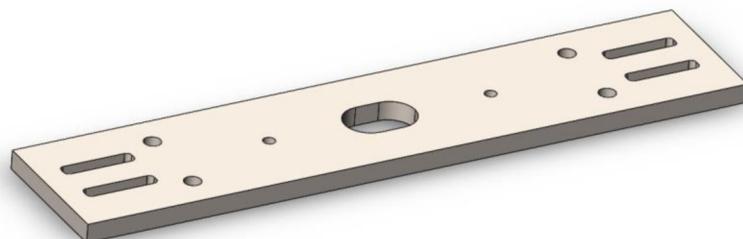


Abb. 37: Richtplatte zum exakten Positionieren der Komponenten, Quelle: Eigene Darstellung.

Damit die Matrizen aufgespannt und linear verschiebbar werden, sind zwei unterschiedliche Komponenten notwendig. Zum einen die Matrizenaufnahme. Sie ist ein aus Aluminium gefertigter Block, der es erlaubt die Richtwerkzeuge darauf individuell zu positionieren und in weiterer Folge mit Schrauben zu befestigen. Eine vergleichsweise geringe Bearbeitungstoleranz von maximal 0,1 mm sorgt dafür, dass die Position der Matrizen genau eingestellt werden kann und die Vergleichbarkeit der Versuche gegeben ist. Zwei Gewindebohrungen an der Oberseite der Aufnahme ermöglichen das Verschrauben der Richtwerkzeuge. Wie in Abb. 38 zu sehen ist, wird diese Matrizenaufnahme auf der die Richtwerkzeuge befestigt werden, auf einem Führungsschlitten montiert, wobei die Gewinde zur Befestigung an der Unterseite des Blocks angebracht sind. Um die Richtwerkzeuge auf der Matrizenaufnahme anbringen zu können wurden außerdem spezielle Schrauben mit einer sehr geringen Kopfhöhe gefertigt um die Distanz zur Unterseite der Deckplatte so gering wie möglich zu halten. Gewöhnliche Schrauben hätten dazu geführt, dass das Richtwerkzeug entsprechend weiter hätte entfernt positioniert werden müssen.

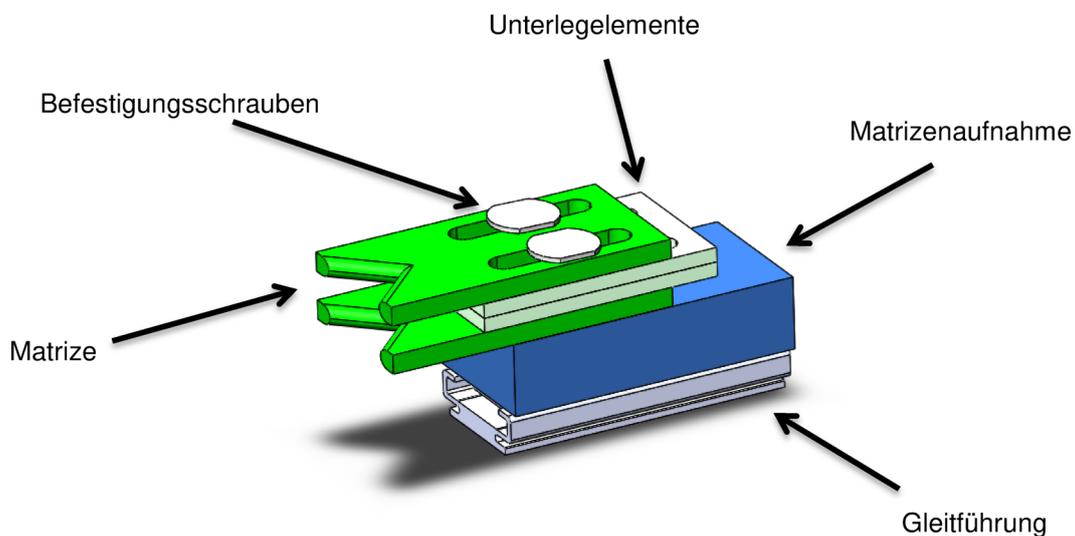


Abb. 38: Matrizenaufnahme auf Linearführung montiert mit 4 mm Matrizen, Quelle: Eigene Darstellung.

Der Führungsschlitten für die Matrizenaufnahme stammt, ebenso wie der Schlitten, welcher in einer Führungsschiene läuft, von igus<sup>®</sup>. In der Gesamtkonstruktion zeichnen sich beide Bauteile zusammengenommen durch ein sehr geringes Spiel und gute Gleiteigenschaften aus. Die Befestigung des Führungsschlittens an der Richtplatte erfolgt durch eine Verschraubung miteinander. Um nun die auf der Matrizenaufnahme aufgespannten Werkzeuge positionsgenau verschieben zu können, ist außerdem ein Schubstangenspanner notwendig, der mit der Hinterseite der Aufnahme durch einen Gewindestift verbunden ist. Durch das Umlegen des Hebels wird eine exakte Verschiebung des Richtwerkzeuges herbeigeführt. Der Hub des Spanners ist genau vorgegeben und beträgt 20 mm. Außerdem ist mit diesem Hebel gewährleistet, dass das Werkzeug in genauer Position verbleibt. In Abb. 39 ist der Richtschlitten mit allen Bauteilen zu sehen, wobei der Schubstangenspanner gespannt ist, also die Richtwerkzeuge in Richtposition sind. Die einzelnen Komponenten sind alle über Schraubverbindungen miteinander verbunden.

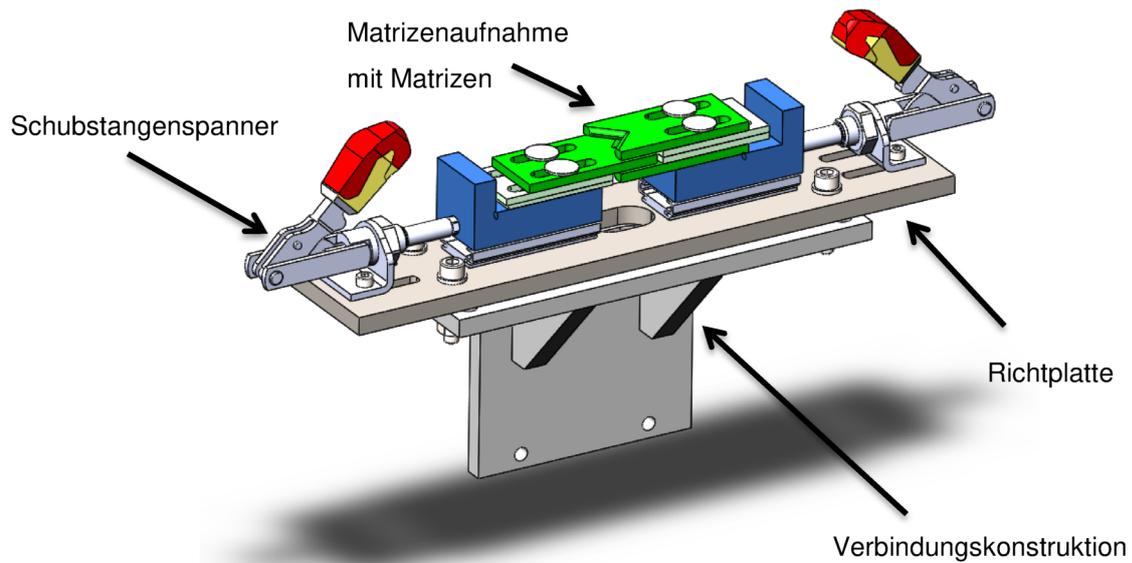


Abb. 39: Komplett bestückter Richtschlitten mit 4 mm Matrizen, Quelle: Eigene Darstellung.

## 5.2.4 Linearführung

Der letzte wesentliche Teil des Prototyps ist die Linearführung, welche es erlaubt den Richtschlitten zu verschieben. Abb. 40 zeigt die auf ein Aluminiumprofil aufgeschraubte Linearführung inklusive Schlitten.

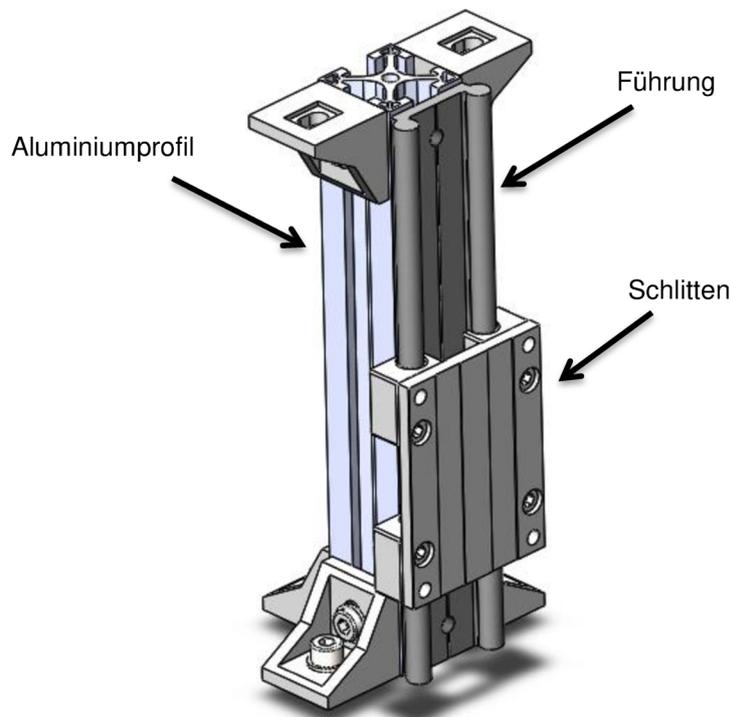


Abb. 40: Führungssäule mit Schlitten, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Linearführung, welche den Schlitten aufnimmt, wird dabei auf ein Aluminiumprofil geschraubt und kann exakt parallel auf diese ausgerichtet werden. Die einzelnen Gleitlagerbuchsen des Schlittens können durch leichtes Verdrehen zueinander eingestellt werden und ermöglichen das Erreichen von sehr geringem Spiel. Die Führungssäule dient im Wesentlichen der Verbindung aller notwendigen Bauteile und

nimmt auf einer großzügig dimensionierten Bodenplatte, auf der sie aufgeschraubt wird, Platz. Somit ist auch die erforderliche Standsicherheit bei den Richtversuchen gesichert.

### 5.2.5 Der komplette Prototyp

Abschließend soll noch auf den Prototyp und dessen Zusammenbau eingegangen werden. In Abb. 41 ist ein Foto des gesamten Aufbaus zu sehen, der alle bereits beschriebenen Komponenten beinhaltet und mit einem Nietstift bestückt ist.

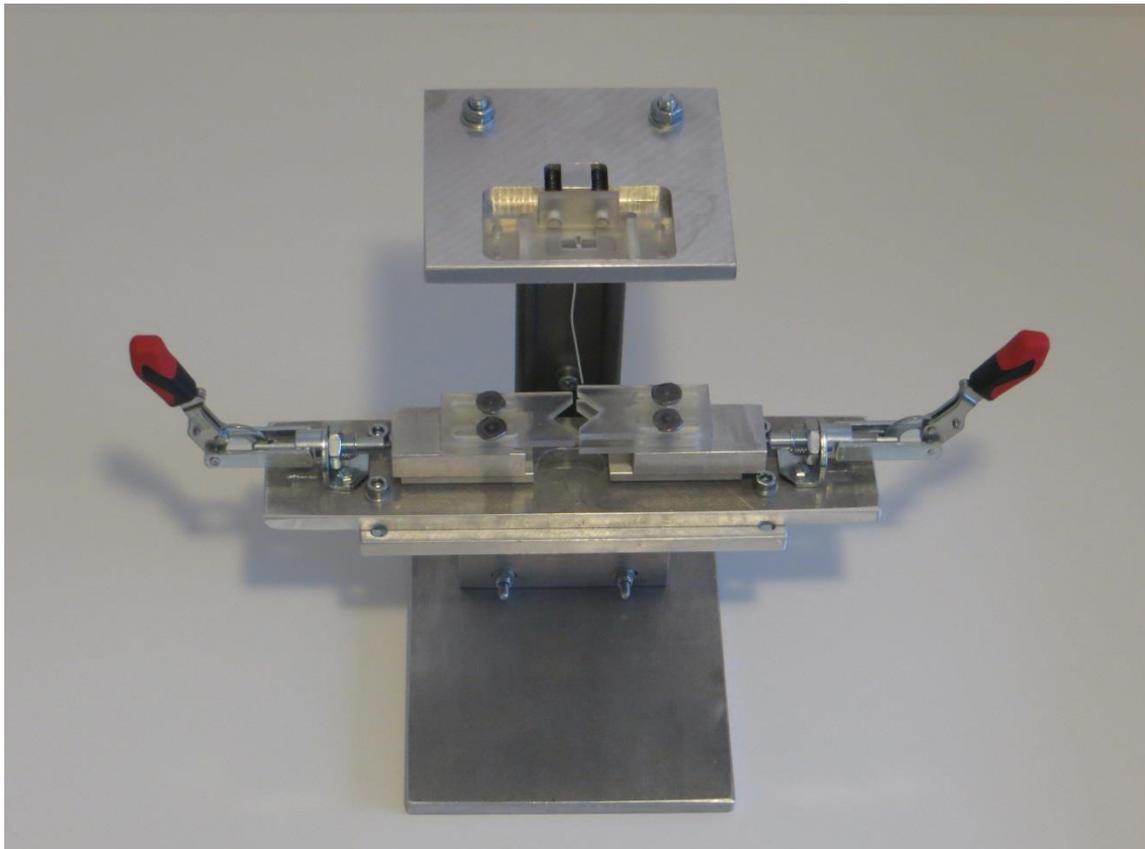


Abb. 41: Fertig zusammengebauter Prototyp, Quelle: Eigene Darstellung.

Damit das Ziel, eine möglichst optimale Geometrie des Richtwerkzeuges umzusetzen, erreicht werden kann, war beim Zusammenbau größtmögliche Sorgfalt notwendig. Es galt dementsprechend, die Komponenten so genau wie möglich einzurichten. Um höchstmögliche Genauigkeit zu erreichen, erfolgte der Zusammenbau Schritt für Schritt mit Hilfe eines exakt eingerichteten Schraubstocks an einer CNC-Fräsmaschine. Dadurch war es möglich, unter Zuhilfenahme einer Messuhr und einem Tiefenmesser, die Einzelteile bis auf wenige hundertstel Millimeter zueinander einzurichten und miteinander zu verschrauben.

In Abb. 42 ist beispielhaft zu sehen wie das Aluminiumprofil mit der Schlittenführung unter Zuhilfenahme einer Messuhr eingestellt wird. Dadurch konnte erreicht werden, dass die Schlittenführung und das Aluminiumprofil zueinander nur 0,02 mm Abweichung aufweisen.

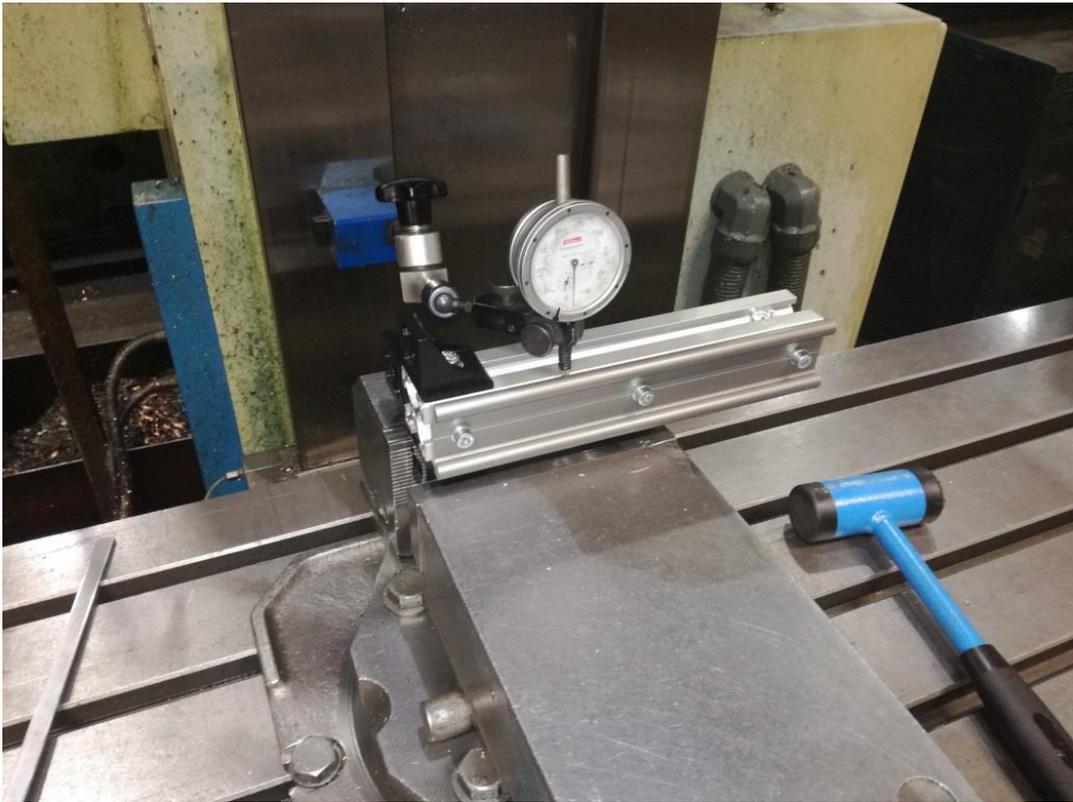


Abb. 42: Einrichten der Schlittenführung auf dem Aluminiumprofil an einer CNC-Fräsmaschine, Quelle: Eigene Darstellung.

### 5.3 Durchführen der Richtversuche

Um den verbogenen Stiften nun in diesem Versuchsaufbau die gewünschte Geometrie verleihen, ist es zunächst notwendig die Matrizen exakt auf der Matrizenaufnahme einzustellen und auszurichten. Dies wurde mit Hilfe eines digitalen Tiefenmessers und einem Anschlag umgesetzt, damit die Abstände der Matrizen möglichst genau eingestellt werden können. Der Anschlag diente dazu, dass die Matrizen auch tatsächlich parallel zu den Führungsschienen verlaufen. Ist dieser Arbeitsschritt durchgeführt, kann mit dem Richtvorgang begonnen werden.

Im ersten Schritt muss der zu richtende Drahtstift in die federbelastete Stiftaufnahme eingelegt werden, wodurch er in Position gehalten wird. Die beiden Schubstangenspanner müssen sich in der Ausgangsposition befinden, es müssen also die beiden sich gegenüberliegenden Richteinheiten maximal voneinander entfernt sein. Nun kann der Richtschlitten an die oberste Position, direkt unterhalb der Nietstiftaufnahme gebracht werden. Durch das Umlegen der beiden Hebel der Schubstangenspanner werden die beiden Richteinheiten gegeneinander verschoben und in Richtposition gebracht, wie aus Abb. 42, welche eine Schnittansicht zeigt, ersichtlich wird. Nun wird der Richtschlitten mit gleichmäßiger Geschwindigkeit nach unten bewegt, wodurch der Drahtstift gerichtet wird. Abschließend kann der Drahtstift durch das Verschieben der Nietstiftaufnahme ausgeworfen und untersucht werden. Danach kann wieder mit einem neuen Richtvorgang begonnen werden.

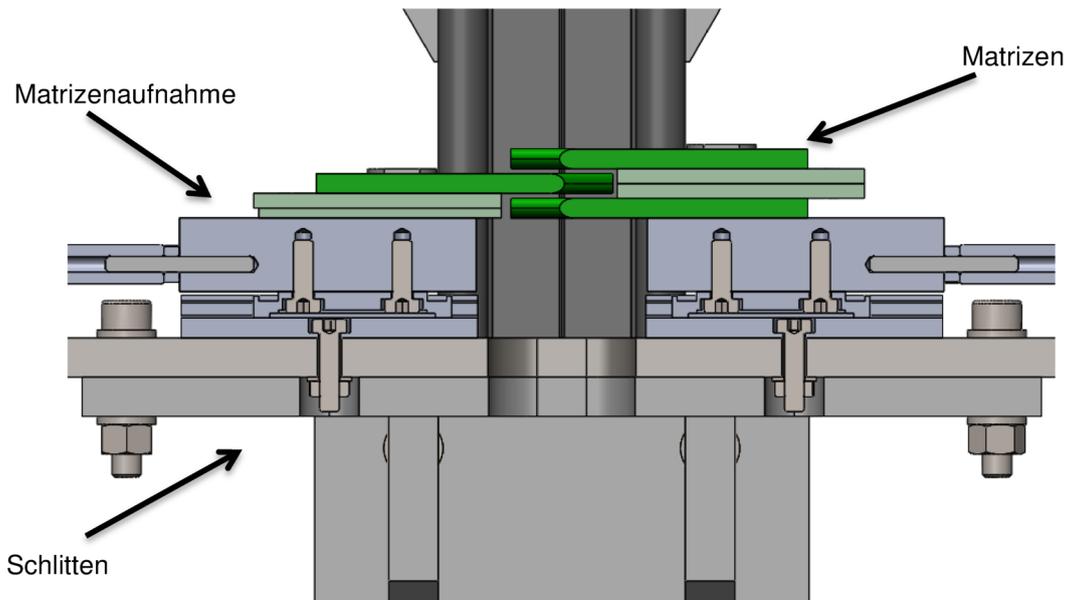


Abb. 43: Schnittansicht des Richtschlittens mit Matrizen in Richtposition, Quelle: Eigene Darstellung.

### 5.3.1 Randbedingungen der Versuchsreihe

Um vergleichbare und adäquate Ergebnisse in Bezug auf die optimale Richtwerkzeuggeometrie und den unterschiedlichen Abständen zu erhalten, ist es vorab erforderlich, gewisse Randbedingungen festzusetzen. Darüber hinaus kann auch von vornherein das Richten gewisser geometrischer Abweichungen ausgeschlossen werden, da dies einfach technisch mit dieser Richtmethode nicht umsetzbar ist. Mit Hilfe einer Bewertungsmatrix sollen die Ergebnisse vergleichbar und auch eine Tendenz hinsichtlich der Geometrie sowie den Matrizenabständen aufgezeigt werden. Damit dies gelingen kann, wurde festgelegt, dass nur Stifte mit einfacher Krümmung einem Richtversuch unterzogen werden, denn diese liegt auch im realen Betrieb bei mehr als 90 % der zu richtenden Stifte vor. Somit ist gewährleistet, dass die Ergebnisse untereinander vergleichbar bleiben, denn auch das Richten unterschiedlich starker Verformungen hat Einfluss auf das Richtergebnis.

Ein Richten von Stiften mit mehreren Biegestellen ist möglich, aber durch die schwierigere Richtbarkeit ist die Vergleichbarkeit zu einfach verbogenen Stiften nicht zur Gänze gegeben. Vereinzelt sind auch Nietstifte mit sehr starker plastischer Verformung vorzufinden, wobei teilweise sogar der Nietstiftdurchmesser stark verändert ist. Ein zu starker Knick darf ebenfalls nicht vorliegen, da durch die zu ausgeprägte Verformung ein Richten nur eingeschränkt möglich ist. Der Grund dafür wurde bereits im Theorieteil in Abschnitt 3.2.3 erläutert. Dort wird festgestellt, dass die stärkste vorhandene Biegung beim Richten zumindest größer sein muss als die größte Verformung am Werkstück. Eine einfache Verformung darf auch nur bis zu einem Maximalwinkel von  $90^\circ$  vorliegen, da sonst die Gefahr besteht, dass das Richtwerkzeug beim Schließen den Stift noch weiter verformt und ein Richten nicht möglich wird. Als letztes Ausschlusskriterium gilt eine Verformung zu knapp unterhalb des Nietstiftkopfes. Da die Nietstifte in einer Vorrichtung festgehalten werden müssen und auch die Richtwerkzeuge über eine gewisse Größe verfügen, kann ein Richten – abhängig von der Matrizengröße – erst einige Millimeter unterhalb des Stiftkopfes erfolgen. In Abb. 41 sind die zulässige Geometrie sowie die aus unterschiedlichen Gründen unzulässigen Geometrien abgebildet.

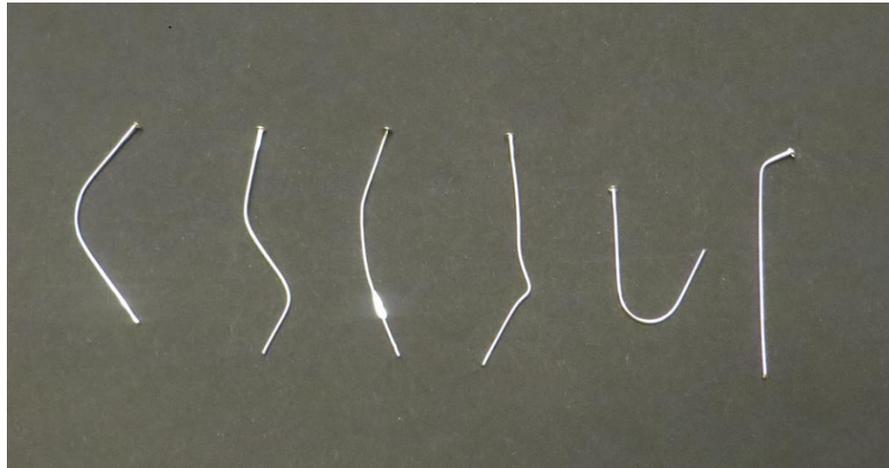


Abb. 44: Verschiedene Nietstiftverformungen von links nach rechts: Einfache Biegung, mehrfache Biegung, starke plastische Verformung am Durchmesser, starke Knickung, Biegung über 90°, Biegung zu knapp unter dem Stiftkopf, Quelle: Eigene Darstellung.

Um die Repräsentativität der Versuche sicherzustellen, wurden alle Versuche mit den jeweils individuellen Einstellungen und den unterschiedlichen Nietstiftfabrikaten mehrfach durchgeführt. Jeder Stift wurde bei der ersten großen Versuchsreihe außerdem nur einmal einem Richtversuch unterzogen, um den im theoretischen Teil erwähnten Bauschinger-Effekt zu vermeiden.

### 5.3.2 Die unterschiedlichen Nietstiftgeometrien

Bei den Versuchsreihen galt es sieben unterschiedliche Nietstifttypen zu richten und das Richtwerkzeug auf seine Tauglichkeit hin zu überprüfen. In Abb. 45 sind die unterschiedlichen Geometrien im Sollzustand nach ihrer Wichtigkeit, das heißt in diesem Fall in absteigender Reihenfolge mit Blick auf die Verkaufszahlen, abgebildet.

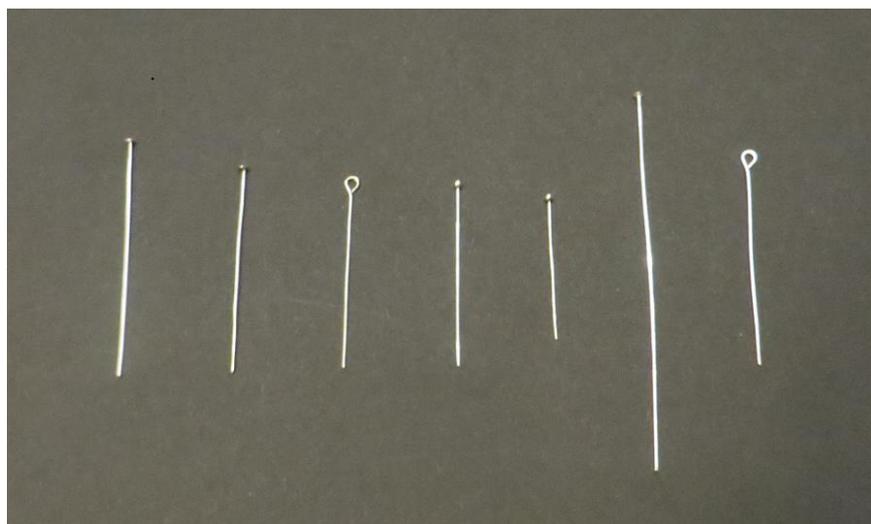


Abb. 45: Die sieben unterschiedlichen Nietstiftgeometrien von links nach rechts nach Wichtigkeit angeordnet, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Nietstifte unterscheiden sich dabei in der Form des Stiftkopfes, des Durchmessers  $d$  und der Stiftlänge  $l$ . Zusätzlich bestehen diese außerdem aus zwei unterschiedlichen Materialien und sind

teilweise beschichtet. In Tab. 4 sind die unterschiedlichen Nietstiftfabrikate mit den jeweiligen Parametern aufgelistet.

	l/mm	d/mm	Kopf	Material	Beschichtung
Nietstifttyp 1	50	0,8	Nagelkopf	Stahl	ja
Nietstifttyp 2	45	0,8	Nagelkopf	Stahl	nein
Nietstifttyp 3	40	0,7	Öse	Stahl	nein
Nietstifttyp 4	40	0,5	Kugelkopf	Zinklegierung	ja
Nietstifttyp 5	30	0,5	Kugelkopf	Zinklegierung	ja
Nietstifttyp 6	80	0,8	Nagelkopf	Stahl	ja
Nietstifttyp 7	45	0,7	Öse	Stahl	ja

Tab. 4: Unterschiedliche Merkmale der verschiedenen Drahtstifte, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Tatsache, dass es sich bei Fabrikat 4 und 5 hinsichtlich des Materials um Zinklegierungen handelt, wurde erst bei den ersten Versuchen festgestellt. In Abschnitt 5.3.4 wird noch näher auf diese Thematik eingegangen.

### 5.3.3 Bewertung der Richtergebnisse

Die Ermittlung der optimalen Richtwerkzeuggeometrie erfordert ein systematisches Vorgehen bei der Wahl der Richtwerkzeuge und den unterschiedlichen einstellbaren Parametern. Dafür wurde eine eigene Bewertungsmatrix erstellt wie diese auch in Tab. 5 beispielhaft gezeigt wird, welche dazu dient Versuche an allen Nietstiftfabrikaten zu erfassen und vergleichbar zu machen. Es wurden bei jeder Versuchsanordnung die verwendete Matrize sowie die Abstände in X- und Y-Richtung festgehalten. Die Nietstifttypen wurden, wie bereits erwähnt, nach den Verkaufszahlen gereiht, wobei sich Typ 1 am besten verkauft. Aus den jeweiligen Versuchen wird dann immer ein Durchschnittswert gebildet, der als vergleichbare Kennzahl dient.

Versuchsanordnung 1						
Matrizendicke	4 mm					
Matrizenabstand X-Richtung	0,8 mm					
Matrizenabstand Y-Richtung	0,5 mm					
Ergebnisse						
Nietstiftfabrikat	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	4. Versuch	5. Versuch	Mittelwert
Nietstifttyp 1						
Nietstifttyp 2						
Nietstifttyp 3						
Nietstifttyp 4						
Nietstifttyp 5						
Nietstifttyp 6						
Nietstifttyp 7						

Tab. 5: Bewertungsmatrix für eine Richtwerkzeugeinstellung, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Versuchsanordnung besteht grundsätzlich aus den drei unterschiedlichen Parametern Matrizendicke, Matrizenabstand in X-Richtung und Y-Richtung. Es wurden die Richtversuche so ausgeführt, dass mit einer Richtmatrize immer unterschiedlichste Abstände eingestellt und dabei die Nietstifte nach dem Richten untersucht werden können. Abbildung 46 zeigt die unterschiedlich einstellbaren Parameter.

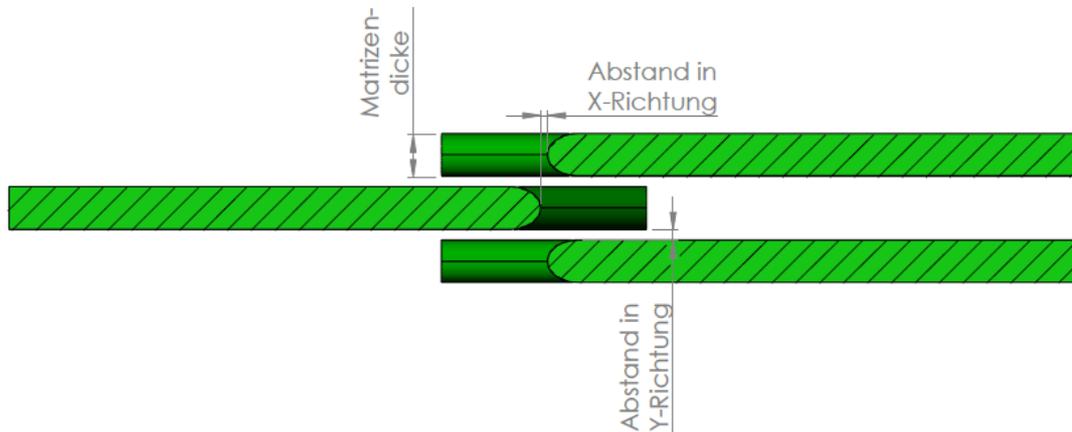


Abb. 46: Darstellung der unterschiedlichen Versuchsparameter, Quelle: Eigene Darstellung.

Aufgrund der schwierig einstellbaren Abstände der Matrizen am Versuchsaufbau, soll an dieser Stelle auch explizit darauf hingewiesen werden, dass sich bei den Einstellungen keine höhere Genauigkeit als 0,1 mm bei den Abständen in X-Richtung erzielen lässt. Wie die späteren Ergebnisse zeigen, ist dies jedoch soweit ausreichend, dass aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden können. Die Abstände in Y-Richtung können mit Hilfe von Abstandhaltern zwischen den Matrizen genau eingestellt werden. Der Einfluss der Richtgeschwindigkeit kann aufgrund der manuellen Bedienung nicht exakt ermittelt werden. Bei den Versuchen wurde jedoch darauf geachtet, dass der Richtvorgang möglichst gleichmäßig, das heißt, mit einer annähernd gleichbleibenden Geschwindigkeit durchgeführt wird. Nachfolgende Versuche werden sich dieser Thematik nochmals im Speziellen widmen.

Wird nun ein Nietstift einem Richtversuch unterzogen, muss dieser anschließend vermessen werden. Es wird hierbei noch die verbleibende Biegung des Stiftes mit einem Messschieber ermittelt, wodurch sich eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichsten Versuche ergibt. Die maximale noch vorhandene Biegung  $b$  am Stift wird anschließend in die Bewertungsmatrix eingetragen. In Abb. 46 ist die Vermessung eines Stiftes schematisch dargestellt.



Abb. 47: Schematisches Vermessungsbeispiel eines Nietstiftes nach dem Richten, Quelle: Eigene Darstellung.

Nach Durchführung der Versuche im Zuge einer Versuchsreihe wird aus den jeweiligen Ergebnissen, wie bereits erwähnt, der Mittelwert als vergleichbare Größe errechnet. Es muss hier außerdem noch ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse natürlich auch von der Länge der Nietstifte

abhängig sind. Je länger ein Nietstiftfabrikat ist, desto stärker wirkt sich die Durchbiegung auf die gemessene Biegung aus. Dies ist auch der Grund, weshalb die Ergebnisse bei den längeren Stiften tendenziell schlechter ausfallen. Vor allem beim Nietstifttyp 6 mit einer deutlich größeren Länge von 80 mm wird dies deutlich. Bei den Ergebnissen in Unterabschnitt 5.3.4.1 wird dies noch genauer ausgeführt, wobei zur Bewertung beispielhaft auch eine Kennzahl in Abhängigkeit der Nietstiftlänge aufgezeigt wird.

Das allgemeine Ziel bezüglich der Richtergebnisse liegt darin, dass das Richtwerkzeug zumindest die Richtergebnisse durch das Richten von Hand erreicht. Da dies auch den momentanen qualitativen Ansprüchen entspricht. Die Vorgaben für die maximale verbleibende Biegung, welche nicht überschritten werden darf, sind in Tab. 6 dargestellt. Die höchstzulässige Biegung  $b$  wurde dabei so definiert, dass sich diese aus dem Durchmesser des jeweiligen Stiftes und einer zusätzlichen Abweichung von 0,1 mm pro 10 mm Stifflänge ergibt.

	$b/\text{mm}$
Nietstifttyp 1	1,3
Nietstifttyp 2	1,25
Nietstifttyp 3	1,1
Nietstifttyp 4	0,9
Nietstifttyp 5	0,8
Nietstifttyp 6	1,6
Nietstifttyp 7	1,15

Tab. 6: Maximal zulässige verbleibende Biegung am jeweiligen Nietstiftfabrikat, Quelle: Eigene Darstellung.

### 5.3.4 Ergebnisse

Bei den ersten Versuchen stellt sich heraus, dass zwei der Nietstifttypen, nämlich Typ 4 und 5, wesentlich andere Eigenschaften hinsichtlich der Duktilität zeigen. Der Umstand, dass diese im Gegensatz zu den anderen Nietstiften außerdem keine magnetischen Eigenschaften aufweisen, lässt den Schluss zu, dass es sich hierbei um die – wie schon in der Einleitung erwähnte – Zinklegierung handelt. Dies macht es notwendig gesondert auf die Richtergebnisse in Abhängigkeit des Stiftmaterials einzugehen, was in den nun folgenden Unterabschnitten geleistet werden soll. Insgesamt wurden an 720 Nietstiften Richtversuche durchgeführt und anschließend vermessen. Die Ergebnisse sind genau dokumentiert, um eine aussagekräftige Basis für die Wahl der Richtgeometrie zu erhalten.

#### 5.3.4.1 Ergebnisse Nietstifte aus Stahl

Bei den Versuchen wurde zunächst mit der 4 mm Matrize begonnen, um in weiterer Folge die Möglichkeit zu haben, die Matrizendicke zu verringern als auch erhöhen zu können. Dabei zeigte sich, dass der Abstand in Y-Richtung nur geringfügige Auswirkungen auf das Ergebnis hat. Im Gegensatz dazu ist das Richtergebnis erheblich vom Abstand in X-Richtung abhängig. Bereits geringste Veränderungen dieses Parameters führten zu maßgeblichen Auswirkungen bezüglich des Ergebnisses. In Tab. 7 sind die Durchschnittsergebnisse der unterschiedlichen Richtversuche in Bezug auf die Änderung der Abstände in Y-Richtung zu sehen. Der Abstand in X-Richtung blieb dabei konstant bei 0,2 mm.

	X-Abstand 0,2 mm		
Abstand in Y-Richtung	0 mm	0,5 mm	1 mm
	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>
Nietstifttyp 1	3,02	3,14	2,92
Nietstifttyp 2	2,44	2,7	2,64
Nietstifttyp 3	2,4	2,7	2,26
Nietstifttyp 6	4,24	5,06	4,06
Nietstifttyp 7	2,18	2,82	2,04

Tab. 7: Mittelwert der unterschiedlichen Richtversuche in Abhängigkeit des Y-Abstandes, Quelle: Eigene Darstellung.

Die unterschiedlichen Werte weichen relativ geringfügig voneinander ab und sind hauptsächlich auf Ungenauigkeiten beim Einrichten der Richtwerkzeuge sowie die etwas unterschiedlich vorhandene Biegung an den Nietstiften zurückzuführen. Aufgrund dieses ersten Ergebnisses wurde bei den weiteren Versuchsanordnungen darauf verzichtet die Matrizenabstände in Y-Richten zu verändern, da dies nur zu einem wesentlich höheren Aufwand der Versuchsreihe geführt hätte, ohne dass Veränderungen zu erwarten sind. Die relative Unabhängigkeit des Richtergebnisses bezüglich des Y-Abstands lässt den Schluss zu, dass bei einer derart geringen Variation in den Abständen schlicht keine maßgeblichen Auswirkungen auf das Richtergebnis vorhanden sind. Ein weiteres Erhöhen des Matrizenabstands in vertikaler Richtung ist aufgrund der Tatsache, dass sich die richtbare Länge verringern würde, nicht zielführend.

Beispielhaft soll an dieser Stelle auch nochmals und genauer auf die Auswirkung der Nietstiftlänge eingegangen werden. Bei Betrachtung der Ergebnisse aus Tab. 7 zeigen sich teilweise deutliche Unterschiede bei der gemessenen Durchbiegung *b* nach dem Richten. Um zu zeigen, dass dies vor allem an den unterschiedlichen Nietstiftlängen liegt, wurde eine einheitenlose Kennzahl ermittelt, welche die Stiftlänge miteinbezieht. Es wurde dabei einfach die Durchbiegung *b* durch die jeweilige Nietstiftlänge / dividiert, wodurch vor allem beim Nietstifttyp 6 ersichtlich wird, dass das Ergebnis nicht schlechter ausfällt als bei den anderen Nietstifttypen. Die Ergebnisse in Abhängigkeit der Stiftlänge sind in Tab. 8 wiedergegeben und beziehen sich auf die Ergebnisse aus Tab 6. Die übrigen Abweichungen bei den Ergebnissen sind auf geringfügig unterschiedliche Durchmesser bei den verschiedenen Fabrikaten sowie Messfehler zurückzuführen.

	X-Abstand 0,2 mm		
Abstand in Y-Richtung	0 mm	0,5 mm	1 mm
	1	1	1
Nietstifttyp 1	0,060	0,063	0,058
Nietstifttyp 2	0,054	0,060	0,059
Nietstifttyp 3	0,060	0,068	0,057
Nietstifttyp 6	0,053	0,063	0,051
Nietstifttyp 7	0,048	0,063	0,045

Tab. 8: Kennzahlen der Richtergebnisse in Abhängigkeit der Stiftlänge, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei den anschließenden Ergebnissen wird auf die Darstellung der Ergebnisse mittels dieser Kennzahlen verzichtet, da die Ergebnisse als Darstellung der noch vorhandenen Biegung besser vorstellbar sind. Es sollte ausschließlich exemplarisch die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Stiftlänge gezeigt werden.

Bereits im Zuge der ausführlichen Untersuchung der unterschiedlichen Parameter bei Verwendung der 4 mm Matrize zeigte sich, dass für ein zufriedenstellendes Ergebnis nur eine sehr geringe Zustellung in X-Richtung erforderlich ist, wobei die besten Ergebnisse bei einem Abstand von 0,6 mm erzielt werden konnten. Verringerte man den Abstand schrittweise, wurden die Ergebnisse immer schlechter. Bei einem Matrizenabstand von 0,2 mm kam es außerdem zu charakteristischen Biegungen, welche in Abb. 48 zu sehen sind. Diese werden bei weiterer Verringerung des Matrizenabstandes noch ausgeprägter. Um diese Verformung wieder auszugleichen, wäre es notwendig durch nachfolgende geringere Zustellung in X-Richtung diese wieder langsam abzubauen. Da es aber wie bereits beschrieben nicht möglich ist – aufgrund des umgekehrten Richtvorganges im Vergleich zum gewöhnlichen Walzrichten – dies so zu realisieren, können diese Einstellungen als negativ bewertet werden. Außerdem stellte sich bei den beschichteten Fabrikaten heraus, dass sich bei derart geringen Matrizenabständen teilweise auch die Beschichtung von den Nietstiften löst. Somit ist eine sehr starke Biegung an den beschichteten Nietstiften ohnehin ausgeschlossen.



Abb. 48: Charakteristische Verformung der Nietstifte bei zu geringem Matrizenabstand, Quelle: Eigene Darstellung.

Erhöht man hingegen den Abstand weiter auf 0,8 mm, fallen die Ergebnisse ebenfalls nicht zufriedenstellend aus, da dieser Abstand größer als der größte Nietstiftdurchmesser ist und somit ein Richten nur unzureichend stattfindet. In Tab. 9 sind die unterschiedlichen Ergebnisse der ersten Versuchsreihe bei wechselndem X-Abstand und einem bei 0 mm fixierten Y-Abstand abzulesen.

Abstand in X-Richtung	Y-Abstand 0 mm			
	0,2 mm	0,4 mm	0,6 mm	0,8 mm
	<i>b</i> /mm	<i>b</i> /mm	<i>b</i> /mm	<i>b</i> /mm
Nietstifttyp 1	3,18	3,02	1,22	2,5
Nietstifttyp 2	2,86	2,8	1,18	2,02
Nietstifttyp 3	2,84	2,78	1,04	2,16
Nietstifttyp 6	5,26	4,64	1,38	5,22
Nietstifttyp 7	3,04	2,24	1,14	2,6

Tab. 9: Mittelwert der unterschiedlichen Richtversuche in Abhängigkeit des X-Abstandes, Quelle: Eigene Darstellung.

Der nächste Schritt bestand darin, auf Basis der Ergebnisse aus dieser Versuchsreihe unter Verwendung der 4 mm Matrize auch mit den anderen Richtwerkzeugen Versuche durchzuführen. Ausgehend von dem besten Ergebnis aus der ersten Versuchsreihe wurden nun weitere Versuche mit den kleineren Matrizen durchgeführt. Der Matrizenabstand in X-Richtung wurde bei jeder Matrize einmal auf 0,4 mm verringert und einmal auf 0,6 mm erhöht. Es zeigte sich dabei, dass die Ergebnisse ebenfalls bei einem Matrizenabstand von 0,6 mm am besten ausfallen. Im Unterschied zu der 4 mm Matrize, welche nur geringfügige Biegungen beim Richten aufwies, waren die Verformungen bei der 3 mm Matrize und insbesondere bei der 2 mm Matrize erheblich. Es kann festgehalten werden, dass solch geringe Abmessungen der Kunststoff-Matrizen bezüglich ihrer Festigkeit ungeeignet sind. Hinsichtlich der Werkzeugstandzeit ist diese Tatsache sicherlich als nachteilig zu betrachten. Im Gegensatz dazu war bei den beiden größeren Matrizen kaum eine Verformung wahrzunehmen. Die Ergebnisse fielen tendenziell etwas schlechter aus als bei den geringeren Matrizenabmessungen, wie noch gezeigt wird. Dies könnte unter Umständen auf die kaum noch vorhandene Flexibilität der Richtmatrizen zurückzuführen sein. Aus diesem Grund wurde auch auf eine weitere Vergrößerung der Matrizendicke in den weiteren Versuchsanordnungen verzichtet.

Grundsätzlich kann behauptet werden, dass die Matrizengröße nur eine sehr untergeordnete Rolle für die Richtergebnisse spielt. In Tab. 10 sind die unterschiedlichen Durchschnittswerte in Abhängigkeit der Matrizengröße aufgelistet. Der Abstand in X-Richtung beträgt dabei ideale 0,6 mm und der Abstand in Y-Richtung weist 0 mm auf.

	Matrizendicke				
	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>
Nietstifttyp 1	1,1	1,24	1,22	1,28	1,26
Nietstifttyp 2	1,16	1,1	1,18	1,34	1,32
Nietstifttyp 3	1,3	1,18	1,04	1,24	1,3
Nietstifttyp 6	2,68	1,88	1,38	1,42	2,36
Nietstifttyp 7	1,16	1,18	1,14	1,24	1,32

Tab. 10: Mittelwert der unterschiedlichen Richtversuche in Abhängigkeit der Matrizendicke, Quelle: Eigene Darstellung.

Für die weitergehende Untersuchung wurde die 4 mm Matrize gewählt, da wie aus der Tabelle hervorgeht, sie bei allen Versuchen durchwegs sehr gute Ergebnisse liefert und im Gegensatz zu den dünneren Matrizen nicht zu stark verformt wird, aber dennoch eine gewisse Flexibilität aufweist, die den Richtergebnissen entgegen zu kommen scheint. Da die stärkeren Richtmatrizen etwas schlechtere Ergebnisse aufweisen, steht eine Wahl dieser außer Frage.

In weiterer Folge war es nun notwendig sich tiefgreifender mit den unterschiedlichen Auswirkungen auf den Richtprozess auseinanderzusetzen, um vor allem eine gewisse Prozesssicherheit zu gewährleisten, damit auch die Richtergebnisse immer den Anforderungen entsprechen. Konkret wurde erstens untersucht, wie sich das mehrmalige Richten eines Stiftes auf die Geradheit auswirkt, ob zweitens die Geschwindigkeit einen signifikanten Einfluss auf das Richtergebnis hat und wie drittens die Richtergebnisse bei mehrfach gebogenen Stiftten ausfallen. Um die Streuung der Ergebnisse noch weiter

zu verringern wurden bei den nachfolgenden Versuchen jeweils zehn Nietstifte gerichtet. Da die Richtergebnisse keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der Richtbarkeit der Stahlstifte zeigten, wurden die Versuche außerdem nur mit dem Nietstifttyp 1 durchgeführt, welches auch das mit Abstand meistverkaufte Produkt darstellt und insofern die höchste Relevanz für das Unternehmen aufweist.

Die Ergebnisse der Versuchsreihe mit der 4 mm Matrize waren bereits zufriedenstellen, konnte doch die Zielvorgabe hinsichtlich der maximal erlaubten Biegung erreicht werden. Dennoch wurde versucht das Ergebnis noch weiter zu verbessern. Das einfachste Mittel hierzu ist es, die Drahtstifte mehrfach mit denselben Matrizeneinstellungen zu richten. Es zeigte sich, dass sich das Ergebnis bei mehrfachem Richten entscheidend verbessert. Erst ab einem fünften Richtvorgang sind keinerlei Verbesserungen bei einfach verbogenen Stiften zu erkennen, wie Tab. 11 zeigt.

	Anzahl der Richtvorgänge				
	1	2	3	4	5
	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>
Nietstifttyp 1	1,28	1,06	0,98	0,95	0,95

Tab. 11: Richtergebnisse in Abhängigkeit der Anzahl der Richtvorgänge, Quelle: Eigene Darstellung.

Dass das Richtergebnis bei mehrmaligem Richten verbessert wird, kann auf eine gewisse Nachgiebigkeit der Kunststoffmatrizen sowie den Werkstoff zurückgeführt werden. Diese Nachgiebigkeit nimmt nach dem ersten Richten eines Stiftes ab, da die vorhandene Krümmung am Stift schon sehr gering ist. Bei den weiteren Richtvorgängen wird somit eine weitere geringfügige Verformung der Stifte erreicht, wodurch Gesamtergebnis verbessert wird.

Da das mehrfache Richten der Nietstifte wesentliche Verbesserungen mit sich bringt, spielt auch die Richtgeschwindigkeit eine noch bedeutendere Rolle. Da die Stifte manuell gerichtet wurden, können hier nur subjektive Versuche durchgeführt werden. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden alle Nietstifte mit einer relativ geringen Richtgeschwindigkeit gerichtet, wobei die lineare Richtbewegung bei etwa 0,5 Sekunden lag. Im nächsten Schritt wurde diese Richtvorgangsdauer halbiert. Im Zuge dessen konnten keine erkennbaren Unterschiede zum langsamen Richten festgestellt werden. Ein Richten mit höherer Geschwindigkeit wirkt sich demnach auf den ersten Blick nicht negativ auf das Richtergebnis aus. In Tab. 12 sind die Ergebnisse bei höherer Richtgeschwindigkeit zu sehen, wobei erneut mehrere Richtvorgänge durchgeführt wurden.

	Anzahl der Richtvorgänge				
	1	2	3	4	5
	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>
Nietstifttyp 1	1,13	1,05	1,02	0,97	0,94

Tab. 12: Richtergebnisse in Abhängigkeit der Anzahl der Richtvorgänge mit höherer Geschwindigkeit, Quelle: Eigene Darstellung.

Für wirklich aussagekräftige Ergebnisse hinsichtlich der Richtgeschwindigkeit wäre es bei einem elektrisch angetriebenen Prototyp notwendig dies nochmals genauer zu untersuchen.

Abschließend wurde noch untersucht wie bei mehrfach verbogenen Stiften die Richtergebnisse ausfallen. Um dies zu überprüfen wurden nun an den Nietstiften zwei gleichmäßig entgegengesetzte Biegungen angebracht. Aufgrund der stärkeren Deformation zeigte sich, dass die Richtergebnisse tendenziell schlechter ausfallen, wenn eine mehrfache Biegung vorliegt. Dennoch können zufriedenstellende Ergebnisse erreicht werden, auch wenn diese marginal schlechter ausfallen und ein häufigeres Richten desselben Stiftes erfordern. Tab. 10 zeigt die ermittelten Ergebnisse. Ab einem sechsten Richtvorgang verändert sich die Qualität des Richtergebnisses nicht mehr.

	Anzahl der Richtvorgänge				
	1	2	3	4	5
	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>
Nietstifttyp 1	1,5	1,3	1,15	1,07	1,03

Tab. 13: Richtergebnisse zweifach verbogener Stifte in Abhängigkeit der Anzahl der Richtvorgänge, Quelle: Eigene Darstellung.

### 5.3.4.2 Ergebnisse Nietstifte aus Zinklegierung

Die letzte Untersuchung der beiden Nietstifttypen aus Zinklegierung, wurde auf Basis der Ergebnisse aus den vorangegangenen Versuchen durchgeführt. Wiederum wurden Matrizen mit einer Dicke von 4 mm gewählt, wobei auch hier auf Veränderungen der Y-Abstände verzichtet wurde. Aufgrund des wesentlich elastischeren Bereichs des Werkstoffes fielen die Ergebnisse wie erwartet schlechter aus, als die der Stahlstifte. Der Umstand der schlechten Richtbarkeit von Zinklegierungen wurde in Unterabschnitt 3.2.2.2 bereits erwähnt und hat sich bei den Versuchen bestätigt. Die hohe Elastizität machte es erforderlich wesentlich andere Abstände der Matrizen in X-Richtung zu untersuchen. In Tab. 13 sind die Ergebnisse abhängig von diesem Faktor aufgelistet.

Abstand in X-Richtung	Y-Abstand 0 mm				
	-0,4 mm	-0,2 mm	0 mm	0,2 mm	0,4 mm
	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>	<i>b/mm</i>
Nietstifttyp 4	1,8	1,7	2,22	2,34	2,38
Nietstifttyp 5	1,58	1,32	1,38	1,68	1,76

Tab. 14: Mittelwert der unterschiedlichen Richtversuche in Abhängigkeit des X-Abstandes, Quelle: Eigene Darstellung.

Leider muss die Richtbarkeit negativ bewertet werden, da sich bei der notwendigen Zustellung von -0,2 mm, die Matrizen überschneiden sich also, zu charakteristischen Verformungen am oberen und unteren Ende zeigen. Zwischen diesen Verformungen entsprechen die Nietstifte jedoch sicherlich den gesetzten Anforderungen. Diese Verformungen sind ident mit genau jenen, welche sich auch schon bei den Versuchen mit den Stahlstiften zeigten, wenn der Matrizenabstand zu gering ausfällt. Im Gegensatz dazu weisen die Stifte aus Zinklegierung diese charakteristische Verformung bei einem größeren Matrizenabstand nicht auf. Dafür werden die Stifte dann aber auch kaum gerichtet, da der notwendige plastische Bereich aufgrund der geringeren Zustellung nicht erreicht wird.

Eine Möglichkeit, diese Verformungen zu vermeiden, kann unter Umständen darin bestehen, das Richtwerkzeug gleichzeitig mit der vertikalen Richtbewegung schließen und öffnen zu lassen, damit die

Stifte am oberen und unteren Ende nicht voll belastet werden. Beim Schließen der Matrize in der oberen Position könnte also schon mit der vertikalen Richtbewegung begonnen werden, um den Knick an der oberen Stelle zu vermeiden. Bevor der Richtvorgang abgeschlossen ist, könnte dann versucht werden den Abstand der Matrizen geringfügig zu erhöhen, damit der Knick am Ende des Nietstifts nicht auftritt. Da dieser Arbeitsschritt jedoch manuell nicht durchführbar ist, können derartige weiterführende Fragestellungen nur anhand eines Prototyps untersucht werden, welcher die Matrizenposition mit Hilfe eines elektrischen Antriebes während der vertikalen Bewegung verstellt.

Ein Richten von erwärmten Stiften aus Zinklegierung wäre auch eine Möglichkeit die Ergebnisse zu verbessern. Als schwierig erweist sich dabei aber sicherlich die Tatsache, dass die Nietstifte aufgrund der geringen Abmessungen relativ schnell abkühlen. Zusätzlich müsste auch das Richtwerkzeug den höheren Temperaturen einwandfrei standhalten. Die Verwendung des Werkzeugwerkstoffes in dieser Arbeit, wäre aufgrund der niedrigen Temperaturbeständigkeit von unter 100°C nicht geeignet.

## **6 KONZEPTIONIERUNG EINER AUTOMATISCHEN DRAHTSTIFT- RICHTMASCHINE**

Der nachfolgende und letzte Abschnitt zeigt die Entwicklung eines Konzepts für eine Drahtstiftrichtmaschine auf Basis der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln. Es gilt, Ideen zu präsentieren, wie der Richtvorgang weitestgehend automatisiert werden und wie ein entsprechendes Maschinenlayout aussehen kann. Dies soll auch einer möglichen Weiterentwicklung, welche an diese wissenschaftliche Arbeit direkt anknüpfen könnte, als Hilfestellung dienen.

### **6.1 Randbedingungen für das Konzept**

Zunächst ist es essentiell Rahmenbedingungen festzulegen, durch welche auch die Designentscheidungen in den folgenden Unterkapiteln nachvollziehbar werden. Als Zielsetzung ist in Kapitel 2 bereits definiert, dass der Richtvorgang weitgehend automatisiert ablaufen soll. Aufgrund der Tatsache, dass die automatische Zuführung der Drahtstifte in Unterkapitel 4.2 nur grob konzeptioniert wurde, ist das Konzept so gestaltet, dass ein automatisches als auch ein manuelles Bestücken der Maschine möglich werden. Sämtliche gewählte und notwendigen Antriebe um die Bewegungsabläufe realisieren zu können, basieren auf rein elektrischer Funktionsweise und dienen als Anhaltspunkt für die Wahl geeigneter Antriebe zur Realisierung einer automatischen Drahtstift-Richtmaschine. Um unabhängig vom Medium Druckluft agieren zu können, wird auf pneumatische Aktuatoren zur Gänze verzichtet. Damit ein höheres Maß an Wirtschaftlichkeit erreicht wird, ist die Maschine so gestaltet, dass das Richten mehrerer Drahtstifte in einem Richtvorgang ermöglicht wird. Da es sich um ein Konzept handelt, das in erster Linie dazu dient, die Funktionalität des automatisierten Richtvorganges zu überprüfen, wird auf viele mögliche Abdeckungen und konstruktive Schutzmaßnahmen in diesem ersten Schritt verzichtet. Damit ein sicheres Betreiben der Maschine – vor allem aufgrund der zahlreichen potentiellen Quetschstellen – dennoch möglich ist, wird festgelegt, dass es sich um einen „Ein-Personen-Arbeitsplatz“ handelt. Zusätzlich ist außerdem ein Zweihandbedienpult zur Benützung der Anlage unumgänglich, da ansonsten nicht gewährleistet werden kann, dass die Person, welche die Maschine betreibt, vor entsprechenden Gefahren geschützt ist.

Abschließend muss noch darauf hingewiesen werden, dass der Schwerpunkt bei der Konzeptionierung des Prototyps auf dem maschinenbaulichen Teil liegt. Zusätzliche Informationen über Controller zur Steuerung der Aktuatoren sowie die Programmierung der SPS sind nicht Teil der Auseinandersetzung, da dies den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde.

### **6.2 Richteinheit**

Der Richteinheit kommt besondere Bedeutung zu, da die Funktionalität der Richtmaschine in hohem Maße von deren einwandfreier Gestaltung abhängt. Sie besteht aus mehreren unterschiedlichen Bauteilen, nämlich dem Schlitten, dem Befestigungsflansch, dem Positioniertisch, der Richtwerkzeugaufnahme und dem eigentlichen Richtwerkzeug. Diese Einzelteile sollen im Folgenden eingehendere Betrachtung finden. Zusammen bilden diese Bauteile eine komplette Richteinheit.

### 6.2.1 Schlitten

Damit die Werkzeuge maschinell mit einer linearen Bewegung versehen werden können, ist es im ersten Schritt notwendig, einen geeigneten Antrieb auszuwählen. Die Entscheidung fiel dabei auf einen Linearschlitten des Unternehmens SMC<sup>®</sup> der sich durch eine kompakte Bauweise und einer einfachen Bestückung von Werkzeugen an der Oberseite auszeichnet, wie auch in Abb. 50 zu sehen ist. Die Linearbewegung wird mittels einer elektrisch angetriebenen Spindel realisiert. Der gewählte Schlitten der Baureihe LES verfügt über eine maximale Nutzlast von 5 kg und ermöglicht eine Höchstkraft von 180 N. Aufgrund der nur sehr geringen erforderlichen Kräfte – da nur eine geringe Zustellung beim Richten benötigt wird – ist dieser Wert jedenfalls als ausreichend zu bezeichnen. Die Höchstgeschwindigkeit des Schlittens beträgt bis zu  $400 \text{ mms}^{-1}$ , wodurch auch die Basis für einen raschen Richtprozess gegeben ist. Die Positioniergenauigkeit des Schlittens beträgt  $\pm 0,05 \text{ mm}$ , sofern Zwischenpositionen eingestellt werden. Da sich der Schlitten bei geschlossener Matrize für den Richtvorgang jedoch in Endlage befindet, kann auch eine noch höhere Genauigkeit erzielt werden.



Abb. 49: Der gewählte Schlitten für die Zustellbewegung der Baureihe LES von SMC<sup>®</sup>, Quelle: directindustry.com, Onlinequelle [23.11.2017].

Die Möglichkeit zur einfachen Positionierung der Schlittenstellung nicht nur in Anfangs- und Endlage ist ein nicht zu vernachlässigender Vorteil. Dies ist insbesondere für die Nietstiftaufnahme relevant, welche ebenfalls mit diesen Linearschlitten versehen ist, wie in Unterkapitel 6.3 erläutert wird.

### 6.2.2 Positioniertisch

Bei den Versuchen zur Ermittlung der optimalen Werkzeuggeometrie wird deutlich, dass das Einstellen der richtigen Matrizenabstände relativ schwierig ist, da schon Abweichungen von mehr als 0,1 mm andere Ergebnisse hervorbringen. Außerdem unterliegen sämtliche Bauteile fertigungsbedingt gewissen Toleranzen, weshalb es alleine aus diesem Grund erforderlich ist, die Position der Matrizen am Richtwerkzeug individuell vorzunehmen, um eben jenen Ungenauigkeiten entgegenzuwirken. Aus diesem Grund ist die Implementierung eines Positioniertisches vorgesehen. Die Auswahl fiel dabei auf ein Produkt der Firma norelem<sup>®</sup> welches in Abb. 51 dargestellt ist.



Abb. 50: Positioniertisch, um die exakte Position der Matrizen einstellen zu können, Quelle: norelem.de, Onlinequelle [23.11.2017].

Die Aluminiumkonstruktion mit Edelstahlspindel ermöglicht das unabhängige Positionieren der Matrizen am Richtschlitten mit einer sehr hohen Genauigkeit von 0,05 mm. Die Einstellung erfolgt hierbei mit Hilfe einer Stellschraube, welche es aufgrund der sehr geringen Spindelsteigung erlaubt, genaue Positionierungen vorzunehmen. An Ober- und Unterseite befinden sich mehrere Bohrungen, wodurch eine einfache Verbindung zwischen den unterschiedlichen Bauteilen der Richteinheit ermöglicht wird. Damit der Positioniertisch mit dem Schlitten verbunden werden kann, war es notwendig eine Flanschplatte zu konstruieren, wie anhand von Abb. 52 deutlich wird. Das Bauteil ist derart entworfen, dass das Anbringen an den Schlitten mittels vier M 5 Schrauben ermöglicht wird. An der Oberseite kann der Positioniertisch durch die beiden M5 Gewindebohrungen befestigt werden, wobei der bewegliche Teil an beiden Seiten geführt wird. Aufgrund der einfacheren Bearbeitbarkeit, vor allem aber aus Gründen des geringeren Gewichts sowie der Korrosionsbeständigkeit, wird als Werkstoff Aluminium vorgeschlagen.

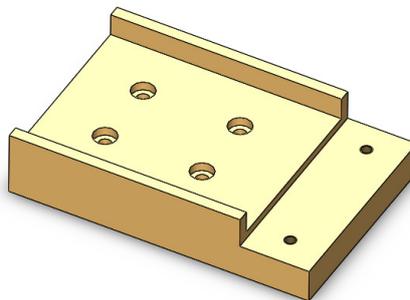


Abb. 51: Flanschplatte zur Befestigung des Positioniertisches am Schlitten, Quelle: Eigene Darstellung.

Als zusätzlicher sehr wichtiger Vorteil des Positioniertisches kann der mögliche manuelle Ausgleich des Matrizenverschleißes genannt werden. Durch den Richtvorgang kommt es unausweichlich zu Verschleißerscheinungen am Werkzeug, die im Laufe der Zeit ausgeglichen werden müssen. Zwar gibt es auch die Möglichkeit dies mit Hilfe der Linearschlitten zu bewerkstelligen, da diese sich individuell positionieren lassen, jedoch bedarf es hierfür Kenntnisse in der Steuerungstechnik. Um das Nachstellen der Matrizenabstände auch Maschinenbedienern ohne entsprechende Fachkenntnis zu ermöglichen, kann dies einfach durch die Positioniertische bewerkstelligt werden.

### 6.2.3 Richtwerkzeug

Zentraler Bestandteil der Richteinheit stellen selbstverständlich die Richtmatrizen dar. Hierfür wurde die in Kapitel 5 ermittelte Richtwerkzeuggeometrie soweit angepasst und verbessert, dass sich diese für einen automatisierten Aufbau besser eignen. Matrizenabstand und Matrizendicke entsprechen

selbstverständlich den Ergebnissen aus den Versuchen. Aufgrund der notwendigen Geometrie sind die Matrizen unter Berücksichtigung der Möglichkeiten additiver Fertigungsverfahren konstruiert.

Da es bei den ersten Versuchen zum Teil notwendig wurde, die Nietstifte in der Aufnahme etwas „Zurechtzurücken“, damit die Matrizen auch ordentlich schließen konnten, wurde die Matrizenbreite letztlich verdoppelt. Dies wird in Hinblick auf einen automatisierten Ablauf als unerlässlich angesehen, da die Matrizen unter allen Umständen die Drahtstifte erfassen müssen. Die Werkzeuge bestehen nun außerdem aus jeweils einem ganzen Teil, wodurch das Verwenden von Unterlegeplatten oder Ähnlichem somit entfällt. Die Befestigung der Matrizen wird nun so realisiert, dass die Matrizen jeweils zwei Stirnsenkungen an der Oberseite aufweisen, welche es erlauben die Matrizen mittels je zwei M5 Zylinderkopfschrauben zu befestigen. Dadurch kann ein geringerer Abstand zu der Nietstiftaufnahme erreicht werden, da an der Oberseite keine störenden Schraubenköpfe vorhanden sind. In Abb. 53 sind die beide Richtmatrizen zum Richten der Stifte dargestellt.

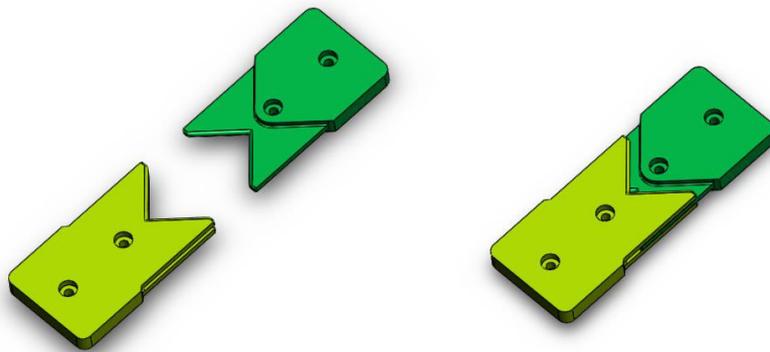


Abb. 52: Richtmatrizen in geöffnetem und geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Anbringen der Richtmatrizen auf dem Positioniertisch machte wiederum die Konstruktion eines Flansches notwendig, um diese darauf adäquat befestigen zu können. Diese Aufnahme der Matrizen ist so gestaltet, dass die Matrizen dort passgenau eingeschoben und befestigt werden können. Abb. 54 zeigt die Matrizenaufnahme zur Befestigung des Werkzeuges am Positioniertisch. Wie auch schon die Flanschplatte zur Befestigung des Positioniertisches am Schlitten, wird ebenso für die Matrizenaufnahme der Werkstoff Aluminium empfohlen.

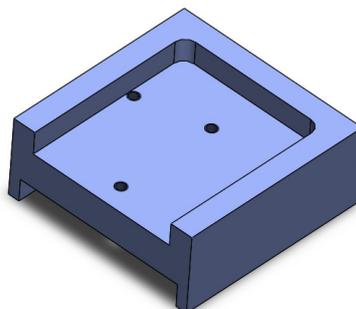


Abb. 53: Matrizenaufnahme zur Verbindung des Richtwerkzeuges mit der restlichen Richteinheit, Quelle: Eigene Darstellung.

Alle bereits vorgestellten Bauteile ergeben zusammen eine Richteinheit, welche vollständig durch Schrauben miteinander verbunden ist. In Abb. 55 ist eine komplette Richteinheit in geschlossenem Zustand veranschaulicht.

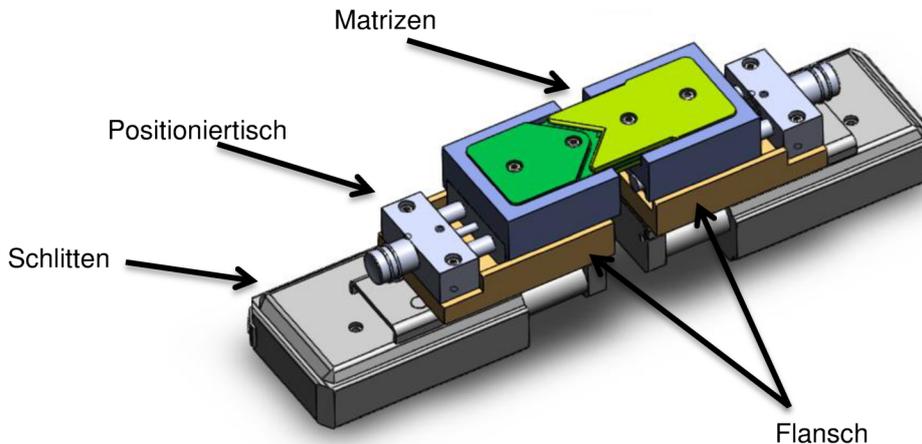


Abb. 54: Komplette Richteinheit in geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung.

### 6.3 Hubtisch

Da die horizontale Bewegung der Richtmatrizen nun durch die Richtschlitten gewährleistet ist, ist es im nächsten Schritt notwendig, sich mit der vertikalen Bewegung, welche als Richtbewegung einzustufen ist, auseinanderzusetzen. Wie bereits zu Beginn erwähnt ist es gewünscht, mehrere Nietstifte gleichzeitig dem Richtprozess zuzuführen, um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Aus diesem Grund sollen in weiterer Folge vier Richteinheiten gleichzeitig in der Maschine Platz finden.

#### 6.3.1 Tischantrieb

Um die vertikale Bewegung zu ermöglichen, wurde ein elektrischer Zylinder mit Führungsstangen des Unternehmens SMC<sup>®</sup> gewählt, wobei zwei Stück zum Einsatz kommen. Die Zylinder der Baureihe LEYG erlauben, bei Einsatz eines Schrittmotors, eine vertikale Last von jeweils 51 kg wodurch sich eine zulässige Gesamtlast von 102 kg bei Einsatz von zwei Zylindern ergibt. Da das Gesamtgewicht einer Richteinheit bei ca. 11,2 kg liegt und die Werkzeugplatte, welche im nächsten Abschnitt vorgestellt wird, ca. 18 kg aufweist, liegt das Gesamtgewicht mit 62,8 kg deutlich darunter. Die beiden Zylinder sind damit für die angedachte Konstruktion auf jeden Fall ausreichend. Der Widerstand, welcher beim Richtvorgang auftritt, kann aufgrund der geringen Zustellbewegung des Werkzeuges vernachlässigt werden. Die Geschwindigkeit der Zylinder beträgt unter Annahme dieser Last maximal  $175 \text{ mms}^{-1}$  und kann als ausreichend schnell bezeichnet werden. Wie auch bei den Schlitten der Richteinheit können auch diese Zylinder individuell positioniert werden. Dies bedeutet, dass der Zylinderverfahrweg optimal an die Nietstiftlänge angepasst werden kann. Ein zu hoher und unnötiger Leerlauf wird so vermieden. Da die Abmessungen der Werkzeugplatte vergleichsweise groß sind, verfügen die Zylinder über zusätzliche Führungsstangen, wie Abb. 56 zeigt, um eventuell auftretenden Querkräften entgegenzuwirken.

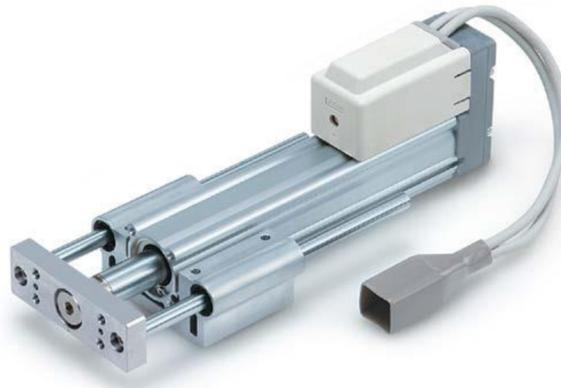


Abb. 55: Der gewählte Zylinder für die Vertikalbewegung der Baureihe LEYG von SMC®, Quelle: smc-world.com, Onlinequelle [23.11.2017].

### 6.3.2 Werkzeugplatte mit Richteinheiten

Die vier Richteinheiten werden auf einer Platte gemeinsam befestigt und damit synchron nach oben und unten bewegt. Die 20 mm starke Aluminiumplatte besitzt bei den jeweiligen Richteinheitspositionen ein Loch, damit die Nietstifte nach dem Richtvorgang hindurchgeworfen werden können. An den erforderlichen Stellen befinden sich Bohrungen sowie Gewindebohrungen zum Befestigen der Teile. Der dazugehörige und ebenfalls an der Werkzeugplatte zu montierende Auffangbehälter, wird in Unterkapitel 6.6 vorgestellt. In Abb. 57 ist die komplett bestückte Werkzeugplatte zu sehen. Es wird daraus auch der relativ große Abstand der Matrizen in geöffnetem Zustand ersichtlich. Dies dient vor allem dazu, auch ein automatisiertes Zuführen der Stifte, wie dies in Unterkapitel 4.2 als Lösungsvorschlag gezeigt wird, realisieren zu können.

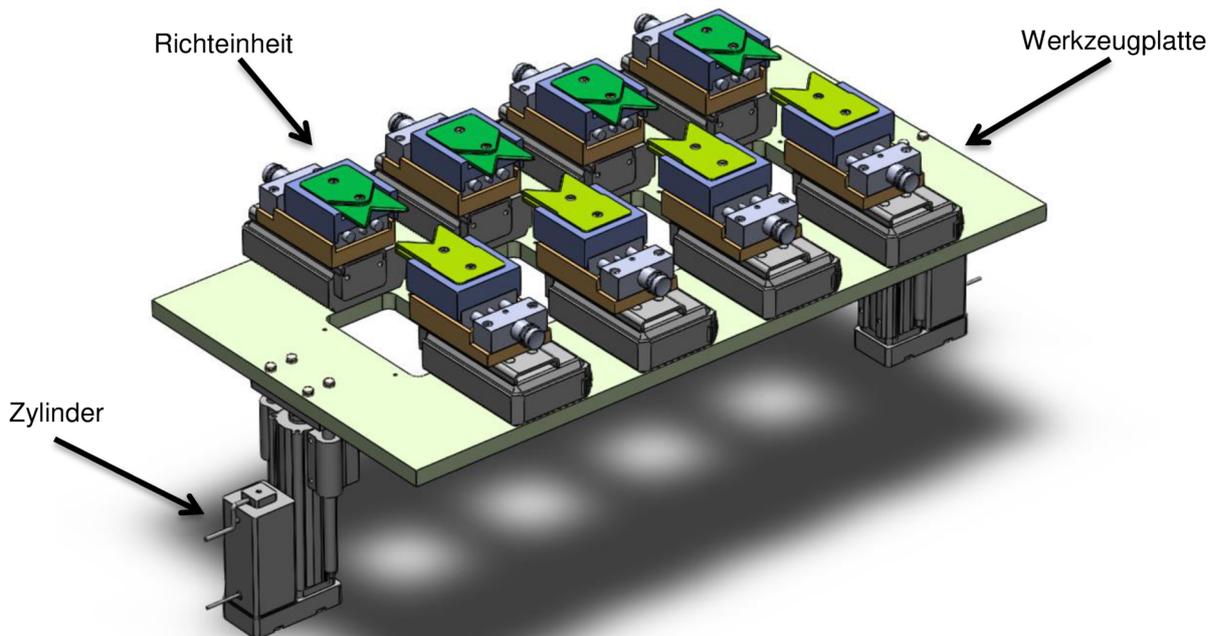


Abb. 56: Mit vier Richteinheiten bestückte Werkzeugplatte mit Vertikalzylindern, Quelle: Eigene Darstellung.

## 6.4 Nietstiftaufnahme-Einheit

Wie schon bei der Richteinheit wird auch bei der Nietstiftaufnahme das Öffnen und Schließen mittels zweier Schlitten von SMC<sup>®</sup> realisiert, wobei hier das idente Modell zum Einsatz kommt. Aus diesem Grund wird nicht nochmals gesondert darauf eingegangen. Im Gegensatz zur Richteinheit wird bei der Nietstiftaufnahme allerdings auf die Verwendung eines Positioniertisches verzichtet. Dies kann vor allem damit begründet werden, dass die Stiftaufnahme ohnehin immer dieselbe Position einnehmen muss und ein Nachjustieren obsolet ist. Das Einstellen der exakten Position wird ausschließlich bei der Montage der Bauteile vorgenommen, wobei etwas größere Bohrungen an der Montageplatte dafür sorgen, dass die Schlitten im Bereich von einem Millimeter eingestellt werden können.

### 6.4.1 Nietstiftaufnahme

Im Gegensatz zur Nietstiftaufnahme des Versuchsaufbaus ist die Nietstiftaufnahme des Prototyps so konstruiert, dass diese komplett zweigeteilt ausgeführt ist. Es zeigte sich nämlich bei den Versuchen, dass das Einführen der verbogenen Stifte in die Vorrichtung relativ schwierig ist, da diese auf jeden Fall von oben eingeschoben werden mussten. Das neue Design erlaubt es durch großzügige Platzverhältnisse, die Stifte horizontal in die Vorrichtung zu schieben. Wurden alle Nietstiftaufnahmen bestückt, kann die Aufnahme geschlossen werden, wodurch die Stifte festgehalten werden. Abb. 58 zeigt die beiden Teile der Nietstiftaufnahme. Zusätzlich ergibt sich aus dieser Bauweise, dass auch eine automatisierte Zuführung der Stifte realisiert werden kann. Dies wurde als vielversprechender beispielhafter Vorschlag bereits in Unterkapitel 4.2 erörtert. Eine exakte Positionierung, sofern dies nicht schon manuell bei der Montage erfolgt, kann in einem zweiten Schritt auch durch die individuelle Positioniermöglichkeit der Schlitten erzielt werden.

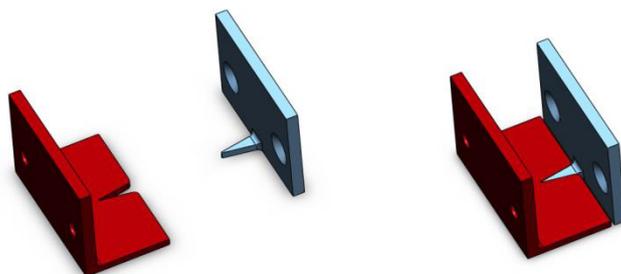


Abb. 57: Nietstiftaufnahme in geöffnetem und geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Montage der beiden Bauteile erfolgt an der Stirnseite des jeweiligen Schlittens mittels zweier M6 Senkkopfschrauben. Als Material für die Aufnahme ist der schon beim Prototyp eingesetzte Werkstoff Clear Resin vorgesehen, damit eine Beschädigung der Nietstifte vermieden werden kann. Alternativ könnte, mit Verweis auf eine längere Haltbarkeit, auch Kupfer als Werkstoff in Betracht gezogen werden.

## 6.4.2 Abstreifer und Befestigungsplatte

Wurde bei den Richtversuchen auch das Entfernen der Stifte aus der Vorrichtung nach dem Richtprozess manuell durchgeführt, so war es für die Erstellung eines automatisierten Konzeptes notwendig, auch ein automatisches Auswerfen der Stifte zu implementieren. Als einfache Lösung für das Auswerfen der Stifte nach dem Richtvorgang wurde ein Abstreifer konstruiert. Dieser wird mit dem Schlitten verschraubt und schiebt durch das Verfahren des Zylinders nach dem Richtprozess den gerichteten Stift einfach von der Stiftaufnahme. In Abb. 59 wird die komplette Nietstiftaufnahme-Einheit in geschlossenem Zustand gezeigt. Schließen sich nun beide Zylinder nach Beendigung des Richtvorganges wird durch den Abstreifer der gerichtete Stift ausgeworfen.

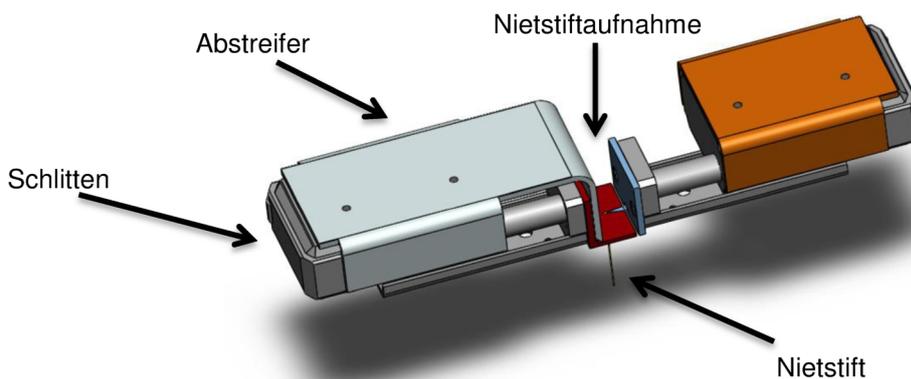


Abb. 58: Nietstiftaufnahme-Einheit mit eingespanntem Nietstift, Quelle: Eigene Darstellung.

Damit nun mehrere Nietstiftaufnahmen an der Maschine angebracht werden können, ist es notwendig diese ebenfalls an einer geeigneten Platte zu montieren. Verglichen mit der Montage der Richteinheiten, wird die Nietstiftaufnahme, bezogen auf den Schlitten, kopfüber montiert. Zusätzlich sind die jeweils gegenüberliegenden Schlitten auf zwei separaten Platten verschraubt, womit eine leichtere Zugänglichkeit zu der Nietstiftaufnahme erreicht wird.

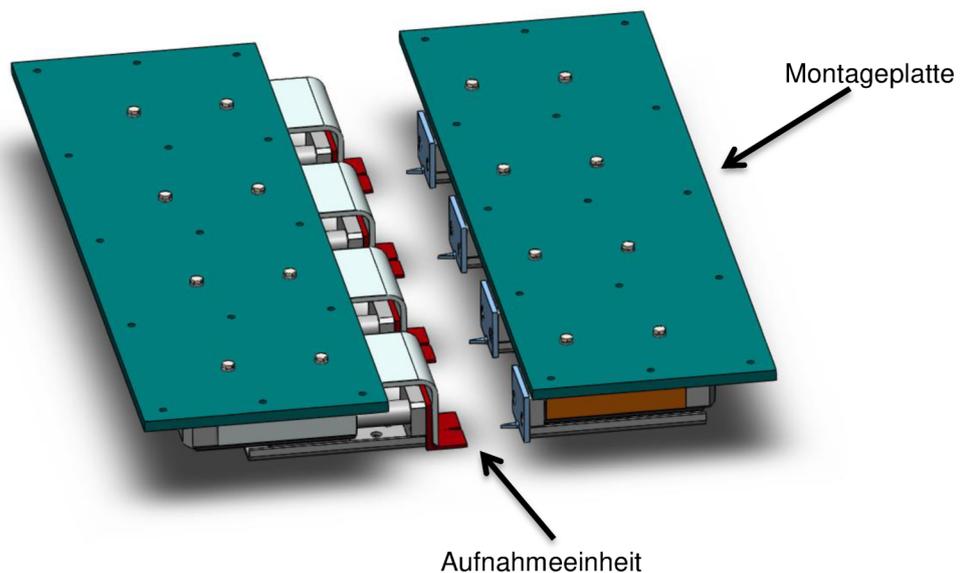


Abb. 59: Montierte Nietstiftaufnahmen an den Befestigungsplatten in geöffnetem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung.

## 6.5 Grundrahmen

Um nun alle bereits vorgestellten Bauteile miteinander zu einer Einheit verbinden zu können, bedarf es einer separaten Konstruktion. Es handelt sich dabei um einen Grundrahmen aus Profilen des Unternehmens item<sup>®</sup>. Diese Aluminiumprofile mit dem quadratischen Maß 40 mm x 40 mm erlauben es eine Konstruktion zu erstellen, die als Rahmen dient um die Komponenten dort unterzubringen. Der Rahmen ist dabei in vier gleich große Sektoren unterteilt, die miteinander in Verbindung stehen, wobei jeder Sektor eine Nietstiftaufnahme beherbergt und so das Positionieren einer Richteinheit ermöglicht. Zusätzlich ist an den beiden Außenseiten je eine Platte montiert, die die Montage des Tischantriebes und des gesamten Hubtisches erlaubt, wie in Abb. 61 zu sehen ist.

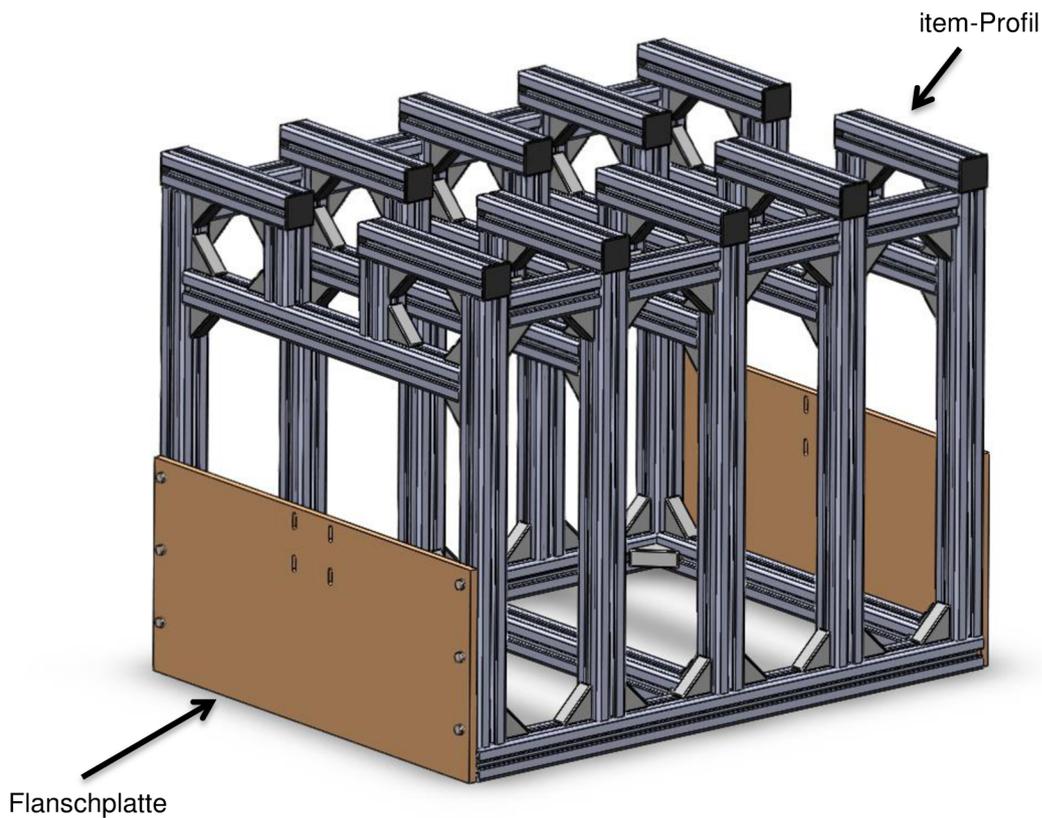


Abb. 60: Grundrahmen zur Montage aller notwendigen Komponenten, Quelle: Eigene Darstellung.

## 6.6 Auffangbehälter

Als letztes wesentliches Element wurde ein Auffangbehälter konstruiert, der die Nietstifte nach dem Richten auffängt. Diese Komponente schafft die Möglichkeit nach dem Richten die Stifte auszuwerfen und diese an entsprechender Stelle in immer derselben Lage zu entnehmen. Das Design orientiert sich hierbei an dem Lösungsvorschlag aus Unterkapitel 4.4, wie Abb. 62 zeigt. Fällt der Stift nach dem Richtprozess nach unten, trifft dieser auf die schiefe Ebene und rutscht schlussendlich in immer gleicher Position an das Ende des Auffangbehälters. Aufgrund der relativ aufwendigen Geometrie handelt es sich hierbei um eine Schweißbaugruppe. Um dies leichter zu realisieren, wird an dieser Stelle die Verwendung von 2 mm Stahlblech bevorzugt.

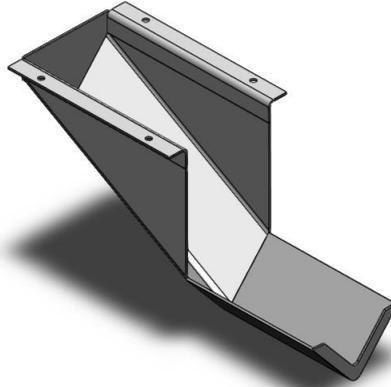


Abb. 61: Auffangbehälter zur Entnahme der Stifte an definierter Position, Quelle: Eigene Darstellung.

## 6.7 Maschinenlayout

Zum Abschluss soll nun das Maschinenlayout in seiner Gesamtheit vorgestellt werden. Sämtliche zuvor vorgestellten Komponenten sind zu einer als Einheit arbeitenden Maschine verarbeitet, wie in Abb. 63 gezeigt wird.

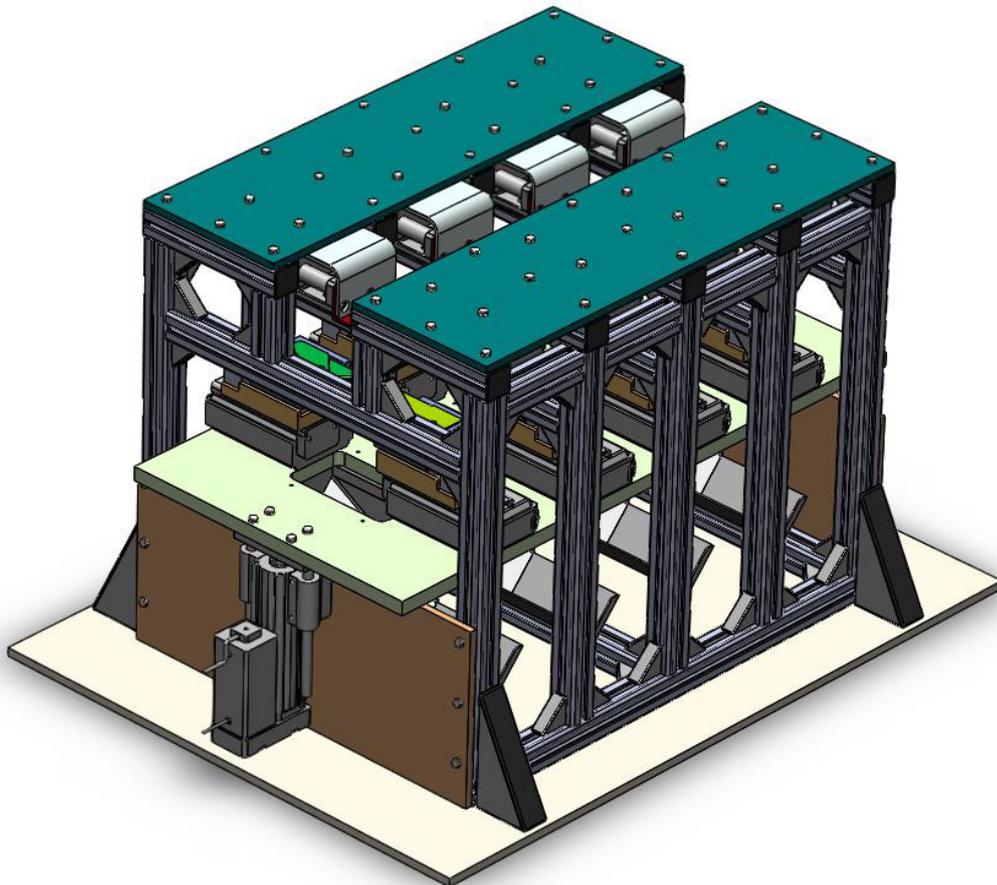


Abb. 62: Layout der kompletten automatischen Richtmaschine, Quelle: Eigene Darstellung.

Grundsätzlich ist das Konzept so flexibel aufgebaut, dass die Anzahl der Richteinheiten durch relativ einfache Änderungen an der Konstruktion bewerkstelligt werden kann. Die Konstruktion würde sich bei Verringerung oder Erweiterung der Richteinheitsanzahl nur in der Länge verändern. Der Grundrahmen zur Aufnahme aller Komponenten kann durch die Verwendung der Aluminiumprofile ohnehin einfach verändert werden. Somit könnte auch auf individuelle Bedürfnisse hinsichtlich der Anzahl der Richteinheiten eingegangen werden.

Es wird somit ersichtlich, dass der mittels Prototyp durchgeführte Richtprozess weitestgehend automatisierbar ist. Die Maschine kann in diesem Zustand sowohl händisch als auch automatisiert bestückt werden.

## 7 FAZIT UND AUSBLICK

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit zeigt, wie das Richten von Drahtstiften mit Hilfe eines eigens dafür konstruierten Werkzeuges sowie Prototypen bewerkstelligt werden kann. Das theoretisch erarbeitete Fachwissen im ersten Teil unterstützte dabei die Entwicklung in hohem Maße. Erst aus diesem Vorwissen ergab sich die Möglichkeit, sich bereits bestehender Technologien zu bedienen und diese für den spezifischen Anwendungsfall zu adaptieren. Es kann somit behauptet werden, dass die Erreichung des Zieles nicht nur schneller sondern auch in höherer Qualität erreicht werden konnte.

Die ganzheitliche Betrachtung eines vollständig automatisierten Arbeitsablaufes wurde in Kapitel 4 ausführlich betrachtet. Die unterschiedlichen vorgestellten Lösungsvorschläge der einzelnen Problemstellungen, wie die automatische Zuführung oder das automatische Verpacken nach dem Richtprozess, sollen helfen die Weiterentwicklung voranzutreiben und zu erleichtern.

Die Hauptaufgabenstellung wurde größtenteils zufriedenstellend gelöst, wenngleich das Richten jener Stifte, die aus einer Zink-Legierung bestehen, letztlich nicht erfolgreich war. Fünf von sieben getesteten Nietstiftfabrikaten können trotz ihrer Variation in Länge, Durchmesser und Nietkopf mit dem entwickelten Richtprozess adäquat gerichtet werden. Dadurch ist nun die Möglichkeit gegeben, den zuvor alleinig von Hand durchgeführten Prozess, weitgehend automatisiert durchzuführen. Ein Ansatz wie dies realisiert werden könnte, wurde in Kapitel 6 vorgestellt, wodurch gezeigt wird, dass der Prozess tatsächlich automatisierbar ist, um der notwendigen Wirtschaftlichkeit Genüge zu tun.

Der nächste logische Schritt wäre nun, einen automatisierten Prototyp zu bauen, um die tatsächliche Tauglichkeit zu überprüfen. Als Ausgangspunkt hierfür kann die Konzeptionierung der automatischen Drahtstift-Richtmaschine in dieser Arbeit dienen, wodurch sich der Aufwand erheblich verringern würde. Für erste Tests wäre es natürlich ausreichend, die Konstruktion soweit abzuändern, dass nur eine Richteinheit verbaut wird, womit die Kosten entsprechend gesenkt werden können. Zusätzlich könnte man bei erfolgreicher Verwirklichung solch einer Maschine noch unterschiedliche Werkzeugmaterialien hinsichtlich ihrer Tauglichkeit untersuchen. Eine Verringerung des Werkzeugverschleißes ist insbesondere aus wirtschaftlicher Sicht stets wünschenswert.

Die Auseinandersetzung mit einer automatischen Zuführung der Stifte ist ebenfalls unabdingbar, ist ein vollautomatischer Vorgang letztlich das Ziel. Aufgrund der Komplexität würde sich diese Aufgabenstellung sicherlich für eine eigene wissenschaftliche Arbeit eignen. Dies gilt ebenso für die Untersuchung eines geeigneten Prozesses zum Richten der Zink-Legierungen. Aufgrund der sehr unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften wäre es denkbar hier völlig andere Wege gehen zu müssen.

## LITERATURVERZEICHNIS

### Gedruckte Werke (10)

Ahlhaus, Otto (1997): Verpackung mit Kunststoffen, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag, München

Bargel, Hans-Jürgen; Schulze, Günter (2012): Werkstoffkunde, 11. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg

Behrens, Bernd-Arno; Doege, Eckart (2007): Handbuch Umformtechnik, 1. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg

Bräutigam, Horst; Becker, Sascha (2009): Richten mit Walzenrichtmaschinen, 4. Auflage, ARKU Maschinenbau GmbH, Baden-Baden

Fritz, Alfred Heribert; Schulze, Günter (2008): Fertigungstechnik, 8. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg

Hesse, Stefan (2013): Grundlagen der Handhabungstechnik, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München

Kaßmann, Monika (2014): Grundlagen der Verpackung. Leitfaden für die fächerübergreifende Verpackungsausbildung, 2. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin

Klocke, Fritz; König Wilfried (2006): Fertigungsverfahren 4 Umformen, 5. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg

Lange, Kurt (1990): Umformtechnik Band 3: Blechbearbeitung, 2. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg

Tschätsch, Heinz (2005): Praxis der Umformtechnik, 8. Auflage, Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden

### Online-Quellen (3)

Risch, Thomas: Vibrationsfördertechnik und Systemdynamik

<http://www.vibrationsfoerdertechnik.de> [Stand 17.01.2018]

Jug, Ingo (Geschäftsführer bei perlenundmehr.at, 2017): Online-Interview [Stand 30.09.2017]

MAE. Maschinen- und Apparatebau Götzen GmbH (Hrsg.): Manuelle Richtpressen, ohne Verlagsangaben, Erkrath

<http://www.mae-group.com/> [Stand 17.01.2018]

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Unterschiedliche Nietstiftfabrikate im Soll- und Ist-Zustand, Quelle: Eigene Darstellung. ....	3
Abb. 2: Schematische Darstellung von schwing- oder pendelfähigen Systemen, Quelle: Risch (2011) S. 5. .....	6
Abb. 3: Schematische Darstellung eines linearen Vibrationsförderers, Quelle: Risch (2011), S.7, leicht modifiziert. ....	8
Abb. 4: Schematische Darstellung eines Wendelschwingförderers. Quelle: Risch (2011), S. 7, leicht modifiziert. ....	8
Abb. 5: Schematische Darstellung eines Flächenschwingförderers. Quelle: Risch (2011), S. 7.....	9
Abb. 6: Gliederung der unterschiedlichen Umformverfahren, Quelle: Behrens/Doege (2007), S. 10. ....	11
Abb. 7: Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit nicht ausgeprägter Fließgrenze, Quelle: Behrens/Doege (2007), S.13. ....	12
Abb. 8: Werkstoffverhalten des Stahls C45 bei unterschiedlichen Behandlungszuständen, Quelle: Behrens/Doege (2007), S. 16.....	13
Abb. 9: Manuell zu bedienende hydraulische Richtmaschine, Quelle: mae-group.com, Onlinequelle [23.09.2017].....	15
Abb. 10: Schematische Darstellung des Walzrichtprozesses, Quelle: reutter-blech.de [03.04.2017]. ....	16
Abb. 11: Darstellung der Biegebeanspruchung bei einem Walzrichtvorgang, Quelle: Bräutigam/Becker (2009), S. 25. ....	17
Abb. 12: Detaillierte Darstellung der elastisch-plastischen Biegebeanspruchung bei einem Walzrichtvorgang, Quelle: Bräutigam/Becker (2009), S. 31.....	18
Abb. 13: Schematische Darstellung des jeweiligen Walzenabstands $t$ und der Zustellung $z$ in Abhängigkeit der Randdehnung bei gleichbleibender Belastung der Walzen, Quelle: Eigene Darstellung. .....	21
Abb. 14: Darstellung des Bauschinger-Effekts anhand eines Diagramms, Quelle: Behrens/Doege (2007) S. 26. ....	22
Abb. 15: Das linke Bild zeigt eine rein elastische Verformung, wohingegen das mittlere Bild eine elastisch-plastische Verformung zeigt. Das rechte Bild veranschaulicht die dadurch zurückbleibenden Restspannungen. Quelle: Bargel/Schulze (2012), S. 115.....	22
Abb. 16: Hyperbolisches und parabolisches Dreiwalzverfahren; Quelle: Lange (1990), leicht modifiziert.	23
Abb. 17: Typische Form eines Ziehsteines nach DIN 1547, Quelle: Eigene Darstellung. ....	24
Abb. 18: Einteilung der Verpackungsmaschinen, Quelle: Ahlhaus (1997), S. 293, leicht modifiziert. ....	26

Abb. 19: Mehrzweckmaschine mit Beschreibung der unterschiedlichen Prozessschritte, Quelle: Fawema.com, Onlinequelle [30.09.2017] leicht modifiziert.....	27
Abb. 20: Richtteil eines bereits vorliegenden Prototyps, Quelle: Eigene Darstellung.....	28
Abb. 21: Schematische Darstellung des Vereinzelungs- und Zuführungskonzeptes, Quelle: Eigene Darstellung. ....	30
Abb. 22: Schematische Schnitt-Darstellung eines möglichen Verpackungsprozesses, Quelle: Eigene Darstellung. ....	31
Abb. 23: Drahtstiftaufnahme in isometrischer Ansicht, im offenen Zustand bereit zur Nietstiftzuführung, im geklemmten Zustand und nach Durchführung des Richtprozesses, wodurch die Stifte ausgeworfen werden, Quelle: Eigene Darstellung.....	34
Abb. 24: Richtmatrize in isometrischer Ansicht, in offenem und in geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung. ....	35
Abb. 25: Nietstiftaufnahme und Matrize in einfacher Platte linear geführt, Quelle: Eigene Darstellung. ....	35
Abb. 26: Erstes Rollenrichtkonzept, Quelle: Eigene Darstellung. ....	36
Abb. 27: Zweites Rollenrichtkonzept, Quelle: Eigene Darstellung. ....	37
Abb. 28: Schnittdarstellung des zweiten Walzrichtkonzeptes um die großen Abstände zueinander besser sichtbar zu machen, Quelle: Eigene Darstellung. ....	38
Abb. 29: Vergleich zwischen dem in der Industrie häufig angewandten Walzrichten und dem adaptierten Verfahren für diese Arbeit, Quelle: Eigene Darstellung. ....	39
Abb. 30: Walzrichtmatrize in isometrischer Ansicht, in offenem und in geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung. ....	40
Abb. 31: Vergleich zwischen der Matrizegeometrie auf der rechten Seite und der dem Rollenrichten nachempfundenen Geometrie auf der linken Seite, Quelle: Eigene Darstellung.....	40
Abb. 32: Nietstiftaufnahme in isometrischer Ansicht, in geschlossenem und in offenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung. ....	42
Abb. 33: An der Deckplatte befestigte Nietstiftaufnahme, Quelle: Eigene Darstellung. ....	43
Abb. 34: 3D-Modell einer 5 mm starken Matrize in isometrischer Ansicht und in Schnittdarstellung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	44
Abb. 35: Mit 3D-Druck hergestellte Richtmatrizen mit einer Dicke von 7 mm bis 2 mm, Quelle: Eigene Darstellung. ....	44
Abb. 36: Verbindungs konstruktion zwischen dem Schlitten und der Richtplatte, Quelle: Eigene Darstellung. ....	45
Abb. 37: Richtplatte zum exakten Positionieren der Komponenten, Quelle: Eigene Darstellung.....	45
Abb. 38: Matrizenaufnahme auf Linearführung montiert mit 4 mm Matrizen, Quelle: Eigene Darstellung.	46

Abb. 39: Komplett bestückter Richtschlitten mit 4 mm Matrizen, Quelle: Eigene Darstellung. ....	47
Abb. 40: Führungssäule mit Schlitten, Quelle: Eigene Darstellung. ....	47
Abb. 41: Fertig zusammengebauter Prototyp, Quelle: Eigene Darstellung. ....	48
Abb. 42: Einrichten der Schlittenführung auf dem Aluminiumprofil an einer CNC-Fräsmaschine, Quelle: Eigene Darstellung. ....	49
Abb. 43: Schnittansicht des Richtschlittens mit Matrizen in Richtposition, Quelle: Eigene Darstellung. ...	50
Abb. 44: Unterschiedliche Nietstiftverformungen von links nach rechts: Einfache Biegung, mehrfache Biegung, starke plastische Verformung, starke Knickung, Biegung über 90°, Biegung zu knapp unter dem Stiftkopf, Quelle: Eigene Darstellung. ....	51
Abb. 45: Die sieben unterschiedlichen Nietstiftgeometrien von links nach rechts nach Wichtigkeit angeordnet, Quelle: Eigene Darstellung. ....	51
Abb. 46: Darstellung der unterschiedlichen Versuchsparmeter, Quelle: Eigene Darstellung. ....	53
Abb. 47: Schematisches Vermessungsbeispiel eines Nietstiftes nach dem Richten, Quelle: Eigene Darstellung. ....	53
Abb. 48: Charakteristische Verformung der Nietstifte bei zu geringem Matrizenabstand, Quelle: Eigene Darstellung. ....	56
Abb. 49: Der gewählte Schlitten für die Zustellbewegung der Baureihe LES von SMC®, Quelle: directindustry.com, Onlinequelle [23.11.2017]. ....	62
Abb. 50: Positioniertisch, um die exakte Position der Matrizen einstellen zu können, Quelle: norem.de, Onlinequelle [23.11.2017]. ....	63
Abb. 51: Flanschplatte zur Befestigung des Positioniertisches am Schlitten, Quelle: Eigene Darstellung. ....	63
Abb. 52: Richtmatrizen in geöffnetem und geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung. ....	64
Abb. 53: Matrizenaufnahme zur Verbindung des Richtwerkzeuges mit der restlichen Richteinheit, Quelle: Eigene Darstellung. ....	64
Abb. 54: Komplette Richteinheit in geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung. ....	65
Abb. 55: Der gewählte Zylinder für die Vertikalbewegung der Baureihe LEYG von SMC®, Quelle: smc-world.com, Onlinequelle [23.11.2017]. ....	66
Abb. 56: Mit vier Richteinheiten bestückte Werkzeugplatte mit Vertikalzylindern, Quelle: Eigene Darstellung. ....	66
Abb. 57: Nietstiftaufnahme in geöffnetem und geschlossenem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung. ....	67
Abb. 58: Nietstiftaufnahme-Einheit mit eingespanntem Nietstift, Quelle: Eigene Darstellung. ....	68
Abb. 59: Montierte Nietstiftaufnahmen an den Befestigungsplatten in geöffnetem Zustand, Quelle: Eigene Darstellung. ....	68
Abb. 60: Grundrahmen zur Montage aller notwendigen Komponenten, Quelle: Eigene Darstellung. ....	69

Abb. 61: Auffangbehälter zur Entnahme der Stifte an definierter Position, Quelle: Eigene Darstellung.... 70

Abb. 62: Layout der kompletten automatischen Richtmaschine, Quelle: Eigene Darstellung. .... 70

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Werkstoffeigenschaften und Abmessungen des Baustahls 1.0570, Quelle: Eigene Darstellung.	20
Tab. 2: Ergebnisse der beispielhaften Berechnung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	20
Tab. 3: Unterschiedliche Walzenteilung und Zustellung in Abhängigkeit der Randdehnung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	20
Tab. 4: Unterschiedliche Merkmale der verschiedenen Drahtstifte, Quelle: Eigene Darstellung. ....	52
Tab. 5: Bewertungsmatrix für eine Richtwerkzeugeinstellung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	52
Tab. 6: Maximal zulässige verbleibende Biegung am jeweiligen Nietstiftfabrikat, Quelle: Eigene Darstellung. ....	54
Tab. 7: Mittelwert der unterschiedlichen Richtversuche in Abhängigkeit des Y-Abstandes, Quelle: Eigene Darstellung. ....	55
Tab. 8: Kennzahlen der Richtergebnisse in Abhängigkeit der Stiftlänge, Quelle: Eigene Darstellung. ....	55
Tab. 9: Mittelwert der unterschiedlichen Richtversuche in Abhängigkeit des X-Abstandes, Quelle: Eigene Darstellung. ....	56
Tab. 10: Mittelwert der unterschiedlichen Richtversuche in Abhängigkeit der Matrizendicke, Quelle: Eigene Darstellung. ....	57
Tab. 11: Richtergebnisse in Abhängigkeit der Anzahl der Richtvorgänge, Quelle: Eigene Darstellung. ....	58
Tab. 12: Richtergebnisse in Abhängigkeit der Anzahl der Richtvorgänge mit höherer Geschwindigkeit, Quelle: Eigene Darstellung. ....	58
Tab. 13: Richtergebnisse zweifach verbogener Stifte in Abhängigkeit der Anzahl der Richtvorgänge, Quelle: Eigene Darstellung. ....	59
Tab. 14: Mittelwert der unterschiedlichen Richtversuche in Abhängigkeit des X-Abstandes, Quelle: Eigene Darstellung. ....	59

## **ANHANG**

Die nun folgenden Datenblätter, welche sich ausschließlich auf den Prototyp und die gefertigten Werkzeuge beziehen, sollen als Zusatzinformationen dienen. Zum einen ist der Werkstoff, aus dem einige der Versuchswerkzeuge als auch das finale Richtwerkzeug bestehen beschrieben und zum anderen können dem Anhang sämtliche notwendigen Fertigungszeichnungen des Prototyps entnommen werden.



# Clear

Photopolymer Resin for Form 1+ and Form 2

## **FLGPCL03 MATERIAL PROPERTIES**

Prepared: 04/19/2016

To the best of our knowledge the information contained herein is accurate. However, Formlabs, Inc. makes no warranty, expressed or implied regarding the accuracy of these results to be obtained from the use thereof.

Formlabs Clear Resin produces strong plastic parts ideal for a wide variety of applications and is specifically designed to work with your Form 2 or Form 1+ 3D Printer. This material can be easily painted, and when the surface is finished or coated, produces a highly clear part. Upon post-cure, tensile strength and stiffness exceeds that of injection-molded or 3D-printed ABS.

The following material properties are comparable for all our Standard Resins, White, Grey, and Black.

	METRIC <sup>1</sup>		IMPERIAL <sup>1</sup>		METHOD
	Green <sup>2</sup>	Postcured <sup>3</sup>	Green <sup>2</sup>	Postcured <sup>3</sup>	
<b>Tensile Properties</b>					
Ultimate Tensile Strength	38 MPa	65 MPa	5510 psi	9380 psi	ASTM D 638-10
Young's Modulus	1.6 GPa	2.8 GPa	234 ksi	402 ksi	ASTM D 638-10
Elongation at Failure	12%	6.2%	12%	6.2%	ASTM D 638-10
<b>Flexural Properties</b>					
Flexural Modulus	1.25 GPa	2.2 GPa	181 ksi	320 ksi	ASTM C 790-10
<b>Impact Properties</b>					
Notched IZOD	16 J/m	25 J/m	0.3 ft-lbf/in	0.46 ft-lbf/in	ASTM D 256-10
<b>Temperature Properties</b>					
Heat deflection temp. @ 264 psi	42.7 °C	58.4 °C	108.9 °F	137.1 °F	ASTM D 648-07
Heat deflection temp. @ 66 psi	49.7 °C	73.1 °C	121.5 °F	163.6 °F	ASTM D 648-07

**NOTES:**

<sup>1</sup>Material properties can vary with part geometry, print orientation, print settings and temperature.

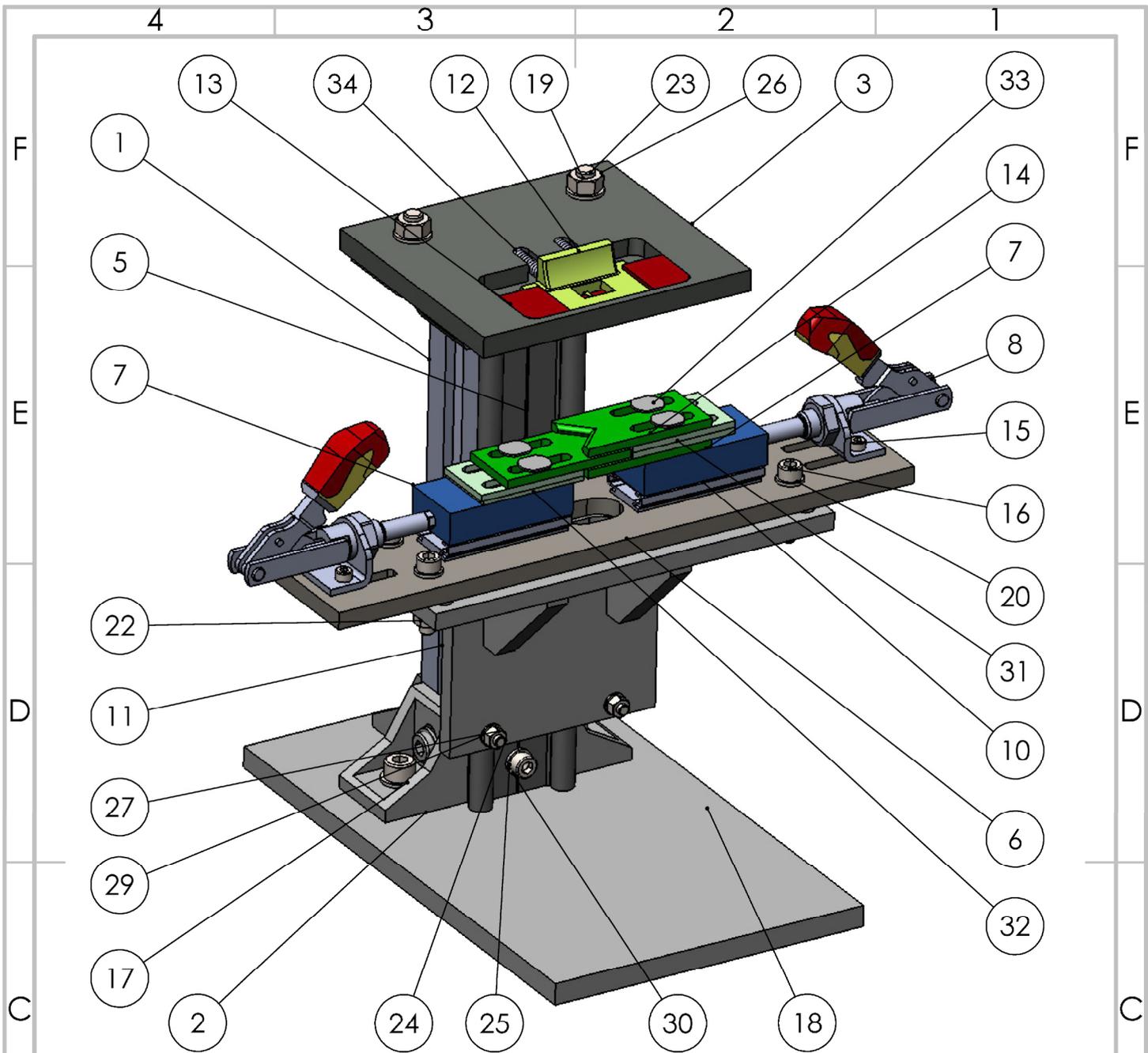
<sup>2</sup>Data was obtained from green parts, printed using Form 2, 100 µm, Clear settings, without additional treatments.

<sup>3</sup> Data was obtained from parts printed using Form 2, 100 µm, Clear settings and post-cured with 1.25 mW/cm<sup>2</sup> of 405 nm LED light at 60 °C for 60 minutes.

## SOLVENT COMPATIBILITY

Percent weight gain over 24 hours for a printed and post-cured 1 x 1 x 1 cm cube immersed in respective solvent:

Mechanical Properties	24 HR WEIGHT GAIN (%)
Acetic Acid, 5 %	< 1
Acetone	sample cracked
Isopropyl Alcohol	< 1
Bleach, ~5 % NaOCl	< 1
Butyl Acetate	< 1
Diesel	< 1
Diethyl glycol monomethyl ether	1.7
Hydraulic Oil	< 1
Skydrol 5	1
Hydrogen Peroxide (3 %)	< 1
Isooctane	< 1
Mineral Oil, light	< 1
Mineral Oil, heavy	< 1
Salt Water (3.5 % NaCl)	< 1
Sodium hydroxide (0.025 %, pH = 10)	< 1
Water	< 1
Xylene	< 1
Strong Acid (HCl Conc)	distorted



Nicht dargestellte Teile

POS-NR.	Benennung
4	Igus Schlitten WW-10-40-10
9	Igus Schlitten NW-01-27
21	Washer DIN 125 - A 4.3
28	Hexagon Nut ISO 4032 - M4 - D - N
35	DIN 7984 - M4 x 16 --- 13.9N
36	DIN 7984 - M4 x 12 --- 9.9N

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m

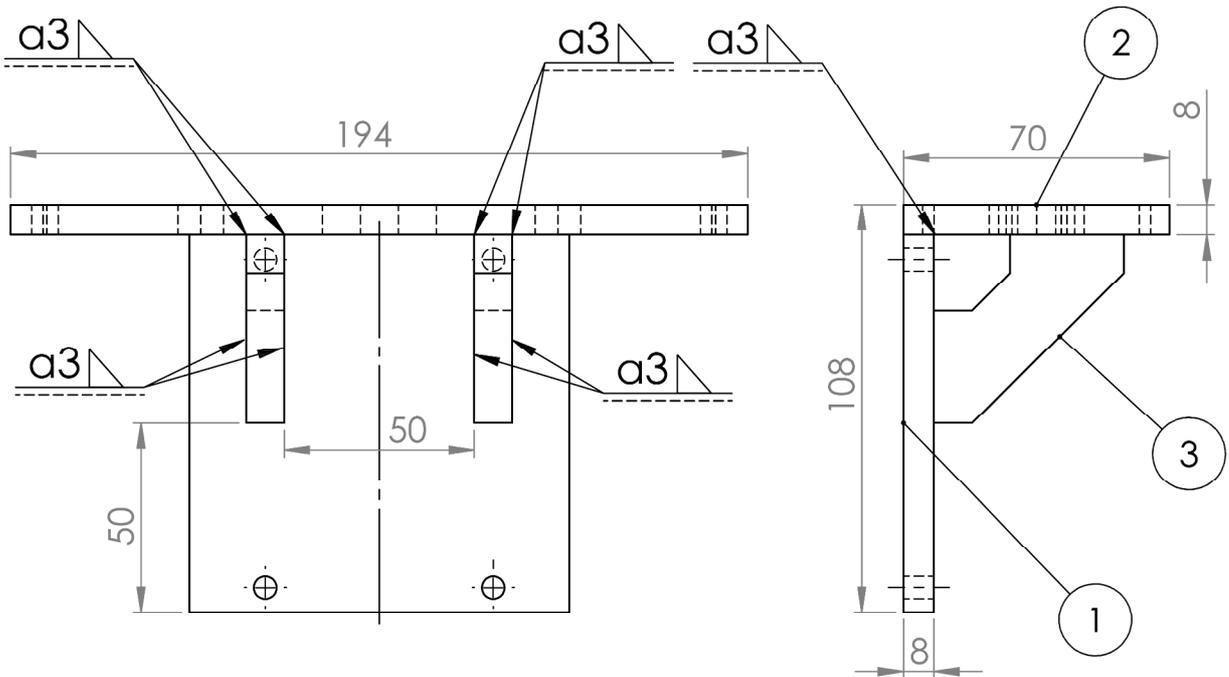


ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftrichtmaschine

A	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION	BENENNUNG:	
	GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	Prototyp	
	GEPRÜFT				
	GENEHMIGT			ZEICHNUNGSNR. C02-P-00	
	PRODUKTION				
	QUALITÄT			WERKSTOFF:	MASSTAB 1:2,5
			GEWICHT:		A4

Stückliste			
POS-NR.	BENENNUNG	Zeichnungsnummer	Stk.
1	Robotunits Profil 40 x 40		1
2	Robotunits Winkel 40x40		5
3	Deckplatte	C02-P-04	1
4	Igus Schlitten WW_10_40_10		1
5	Igus Doppeschiene WS-10-40-SL-250		1
6	Schlittenaufnahme	C02-P-12	1
7	Matrizenaufnahme	C02-P-08	1
8	Schubstangenspanner 6841		2
9	Igus Schlitten NW-01-27		2
10	Igus 27 Führungsschiene NS-01-27		2
11	Plattenverbindung		1
12	Nietstiftaufnahme Teil 2	C02-P-10	1
13	Nietstiftaufnahme Teil 1	C02-P-09	1
14	Matrize 4mm	C02-P-07	3
15	EN ISO 4762 M4 x 16 - 16N		4
16	EN ISO 4762 M6 x 30 - 24N		4
17	EN ISO 4762 M8 x 16 - 16N		3
18	Bodenplatte	C02-P-03	1
19	Beilagscheibe DIN 125 - A 8.4		7
20	Beilagscheibe DIN 125 - A 6.4		10
21	Beilagscheibe DIN 125 - A 4.3		6
22	Mutter ISO 4034 - M6 - N		4
23	DIN 912 M8 x 30 --- 30N		2
24	DIN 912 M5 x 35 --- 35N		4
25	DIN 912 M6 x 16 --- 16N		3
26	Sechskantmutter ISO 4032 - M8 - D - N		2
27	Sechskantmutter ISO 4032 - M5 - D - N		4
28	Sechskantmutter ISO 4032 - M4 - D - N		6
29	Beilagscheibe DIN 126 - 5.5		2
30	Beilagscheibe DIN 126 - 6.6	C02-P-09	3
31	Abstandhalter 3mm	C02-P-01	3
32	Abstandhalter 2mm	C02-P-01	1
33	Befestigungsschraube	C02-P-02	4
34	Schraubenfeder 6mm		2
35	DIN 7984 - M4 x 16 --- 13.9N		2
36	DIN 7984 - M4 x 12 --- 9.9N		4



POS-NR.	BENENNUNG	Zeichnungsnummer	MENGE
1	Flanschplatte	C02-P-05	1
2	Platte horizontal	C02-P-11	1
3	Knotenblech	C02-P-06	2

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftrichtmaschine

NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION	BENENNUNG:
GEZEICHNET: HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017		Plattenverbindung
GEPRÜFT:			
GENEHMIGT:			
PRODUKTION:			
QUALITÄT:		WERKSTOFF: Aluminium	ZEICHNUNGSNR. C02-P-100
		GEWICHT:	MASSTAB:1:5
			BLATT 1 VON 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

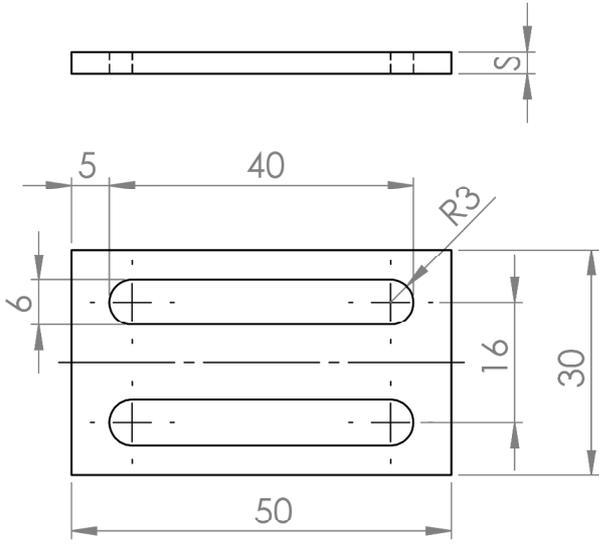
D

C

C

B

B



S
0,5
1
2
3
4

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftrichtmaschine

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			

BENENNUNG: <b>Abstandhalter</b>	
WERKSTOFF: <b>Clear Resin</b>	ZEICHNUNGSNR. <b>C02-P-01</b>
GEWICHT:	MASSTAB:1:1
	BLATT 1 VON 1

A

A

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

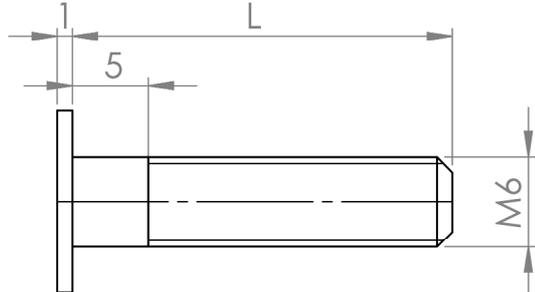
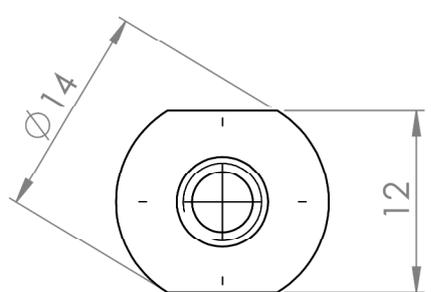
D

C

C

B

B



L
15
25
35

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



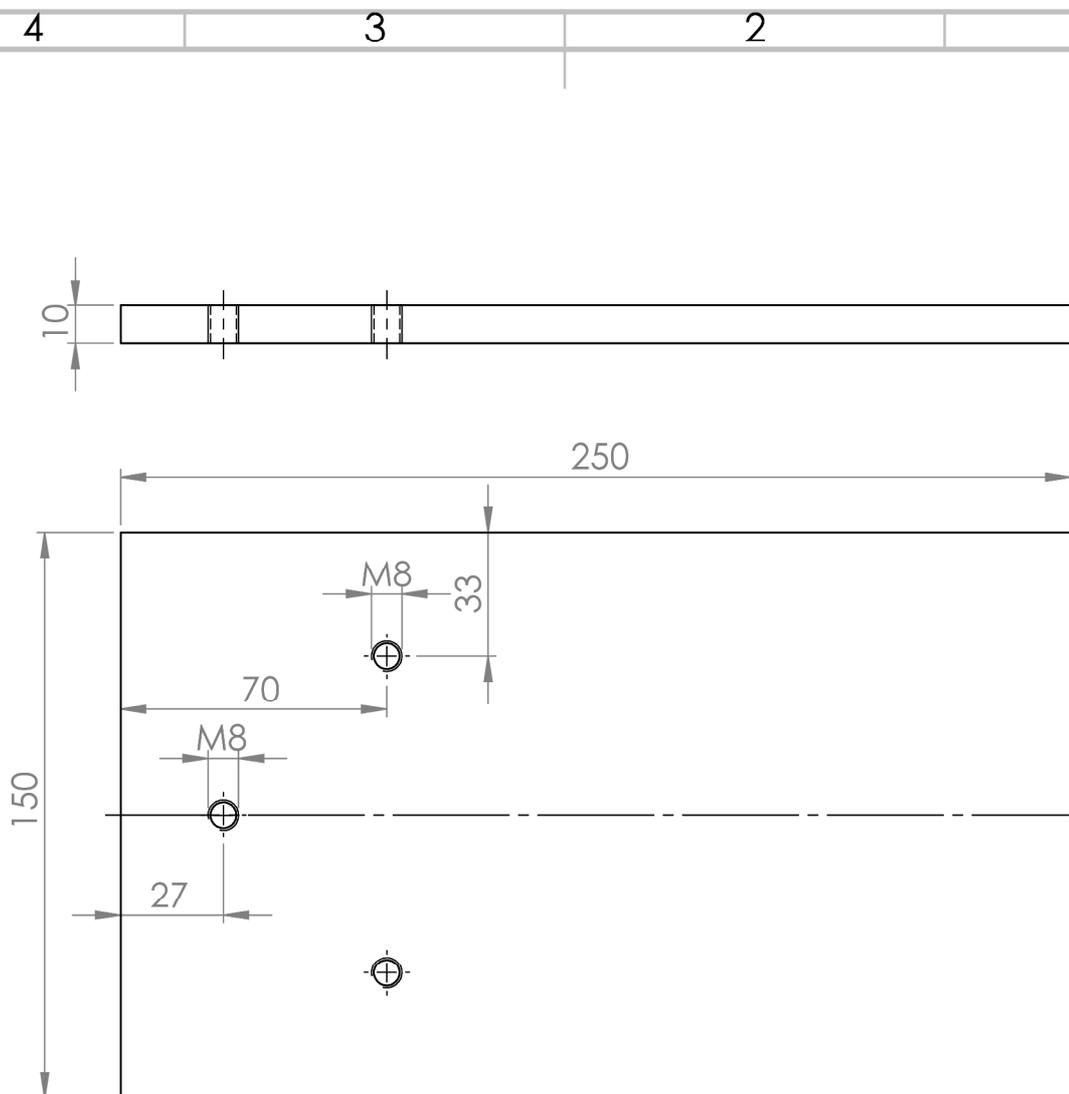
ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftrichtmaschine

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			
			WERKSTOFF: S355
			GEWICHT:

BENENNUNG: <b>Befestigungsschraube</b>	
ZEICHNUNGSNR. C02-P-02	A4
MASSTAB:2:1	BLATT 1 VON 1

4 3 2 1



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftrichtmaschine

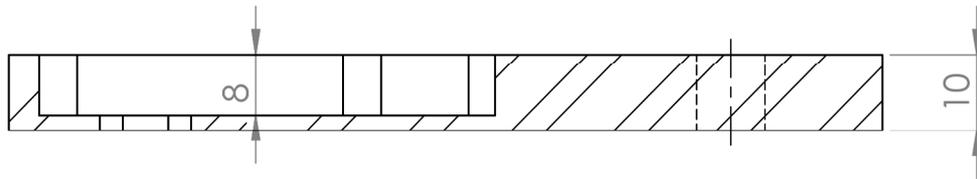
	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			
			WERKSTOFF: Aluminium
			GEWICHT:

BENENNUNG:  Bodenplatte	
ZEICHNUNGSNR. C02-P-03	A4
MASSTAB:1:2	BLATT 1 VON 1

4 3 2 1

F

F



# SCHNITT B-B

MAßSTAB 1 : 1

115

E

E

D

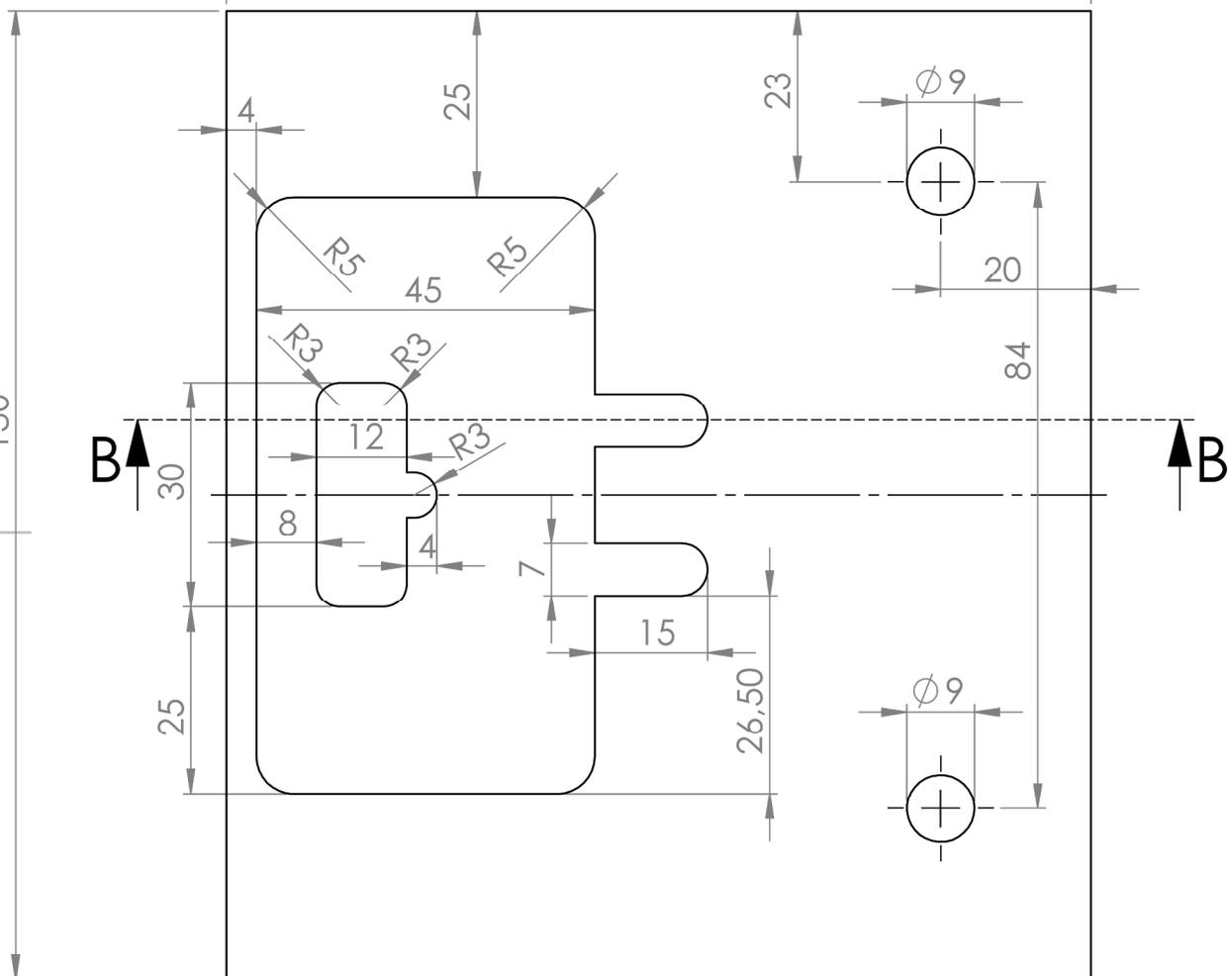
D

C

C

B

B



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER

Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftfrichtmaschine

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			
			WERKSTOFF: Aluminium
			GEWICHT:

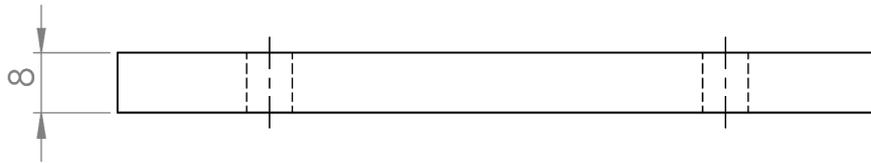
BENENNUNG: <h2>Deckplatte</h2>		ZEICHNUNGSNR. <b>C02-P-04</b>	A4
MAßSTAB:1:2			
BLATT 1 VON 1			

4 3 2 1

4 3 2 1

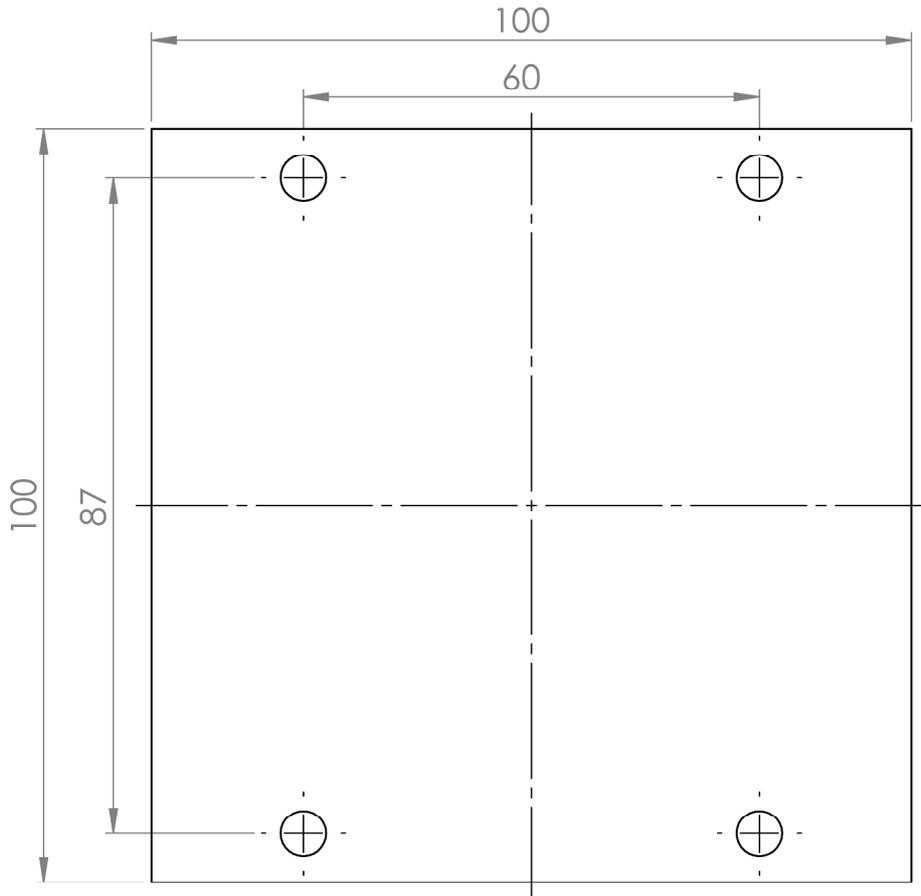
F

F



E

E



D

D

C

C

B

B

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftrichtmaschine

A

A

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			

BENENNUNG:  Flanschplatte		
WERKSTOFF: <b>Aluminium</b>	ZEICHNUNGSNR. <b>C02-P-05</b>	<b>A4</b>
GEWICHT:	MASSTAB:1:1	BLATT 1 VON 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

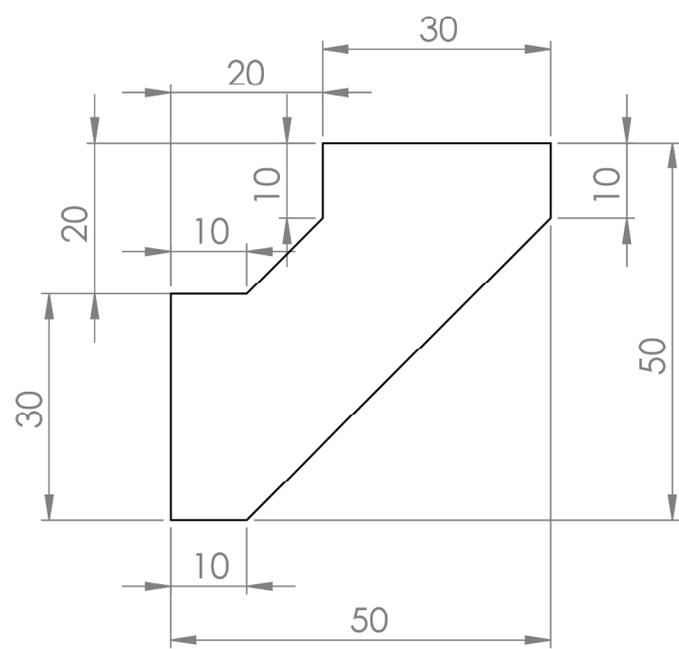
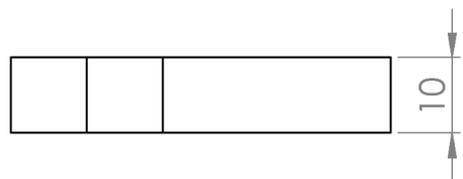
D

C

C

B

B



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftrichtmaschine

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			
			WERKSTOFF: Aluminium
			GEWICHT:

BENENNUNG:  Knotenblech	
ZEICHNUNGSNR. C02-P-06	A4
MASSTAB:1:1	BLATT 1 VON 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

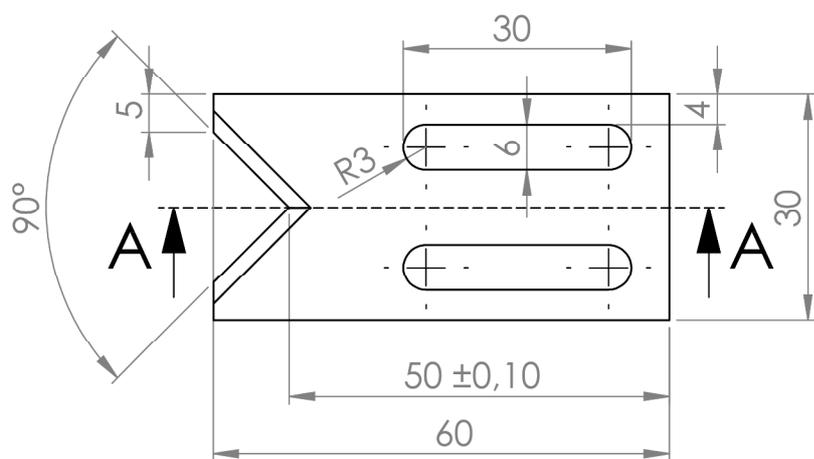
C

B

B



SCHNITT A-A



S	R
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftfrichtmaschine

A

A

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			
			WERKSTOFF: Clear Resin
			GEWICHT:

BENENNUNG:  Matrize		ZEICHNUNGSNR. C02-P-07	A4
MASSSTAB: 1:1		BLATT 1 VON 1	

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

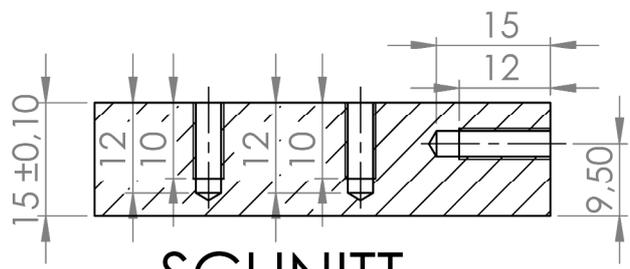
D

C

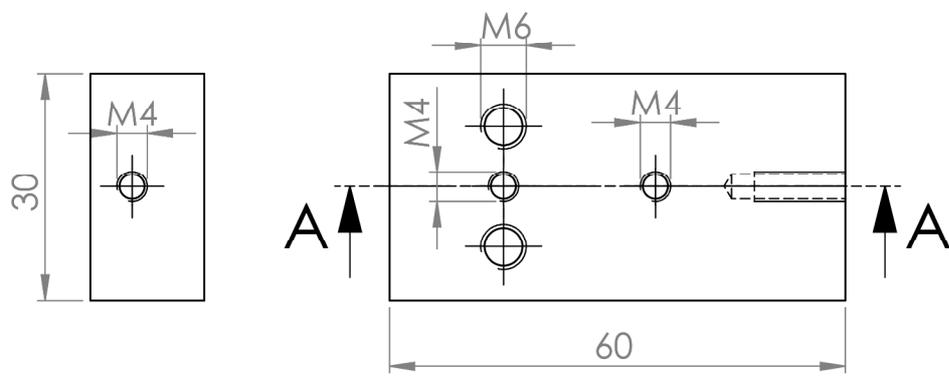
C

B

B



SCHNITT A-A



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



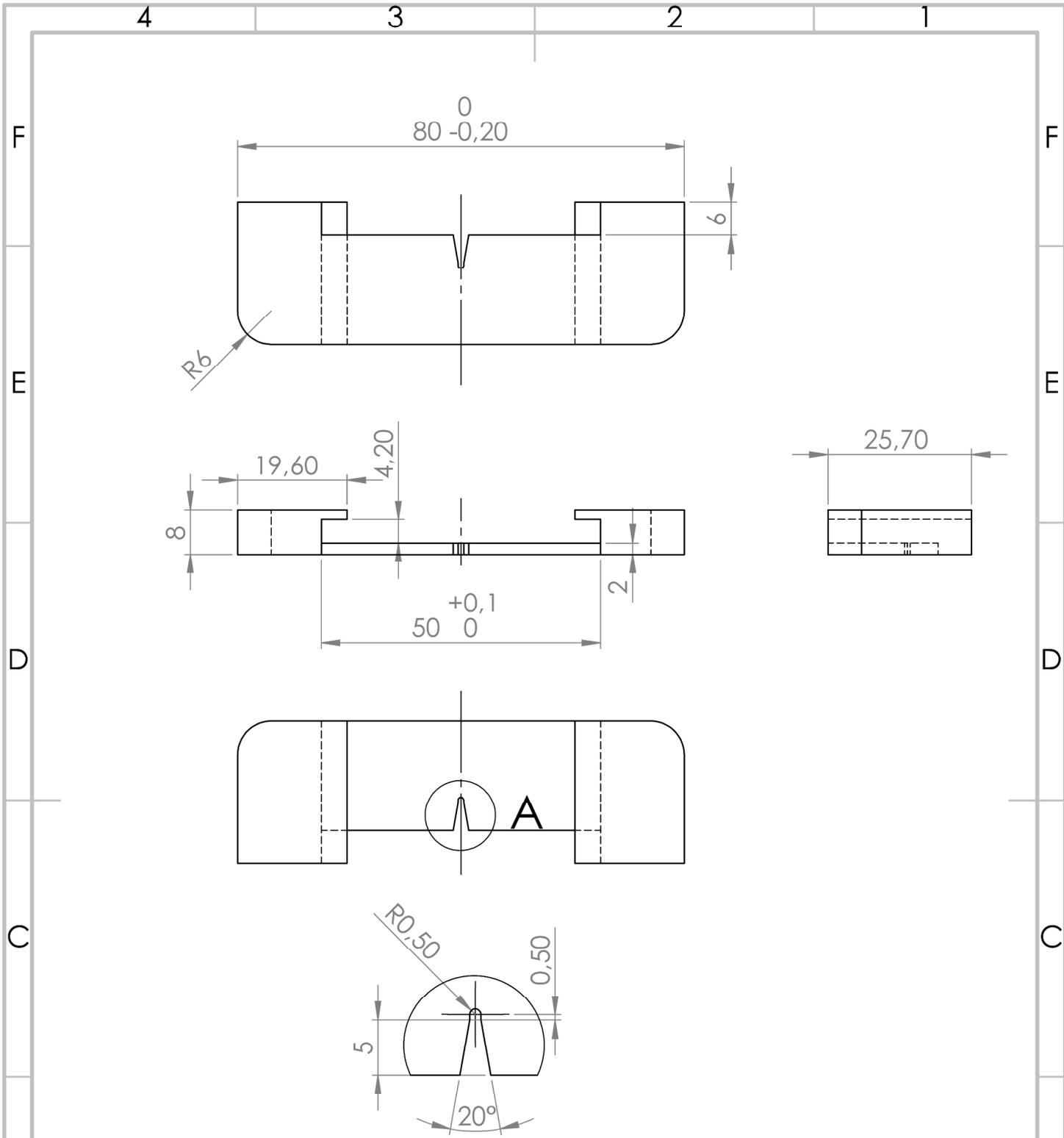
ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstiftrichtmaschine

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			
			WERKSTOFF: Aluminium
			GEWICHT:

BENENNUNG: Matrizenaufnahme		A4
ZEICHNUNGSNR. C02-P-08		
MASSTAB:1:1		BLATT 1 VON 1

4 3 2 1



**DETAIL A**  
**MAßSTAB 2 : 1**

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

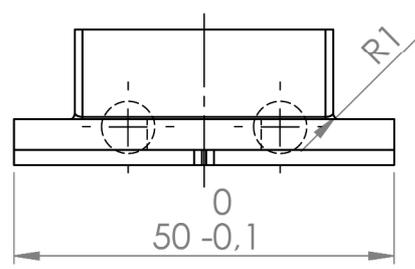
PROJEKT: **Prototyp  
Drahtstifttrichtmaschine**

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION	BENENNUNG:	
A	GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	<b>Nietstiftaufnahme Teil 1</b>	
	GEPRÜFT				
	GENEHMIGT				
	PRODUKTION				
	QUALITÄT				
			WERKSTOFF: <b>Clear Resin</b>	ZEICHNUNGSNR. <b>C02-P-09</b>	A4
			GEWICHT:	MASSSTAB:1:1	

4 3 2 1

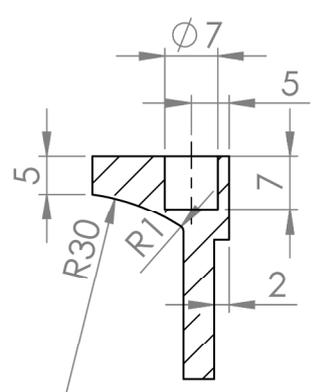
F

F

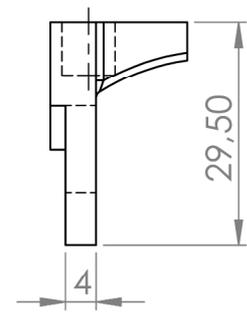
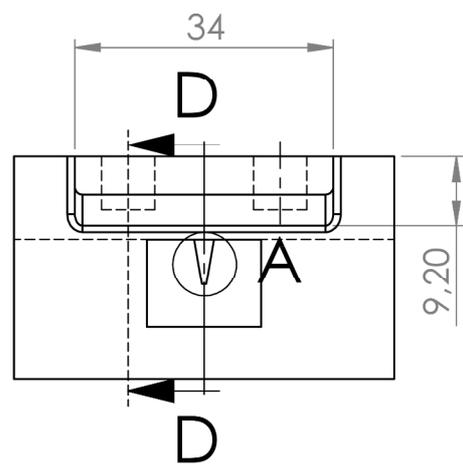


E

E

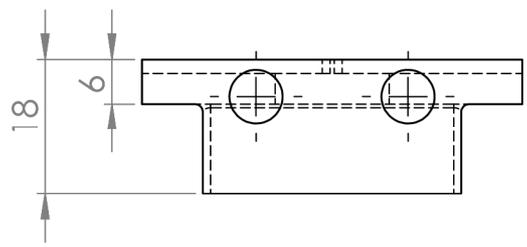


SCHNITT D-D



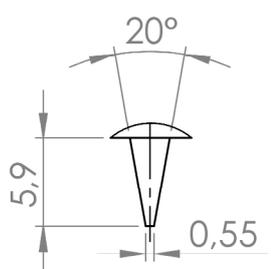
D

D



C

C



DETAIL A  
MAßSTAB 2 : 1

B

B

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: Prototyp  
Drahtstifttrichtmaschine

A

A

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			
			WERKSTOFF: Clear Resin
			GEWICHT:

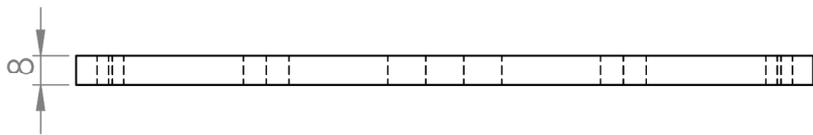
BENENNUNG:  Nietstiftaufnahme Teil 2		ZEICHNUNGSNR. C02-P-10	A4
MASSSTAB:1:1		BLATT 1 VON 1	

4 3 2 1

4 3 2 1

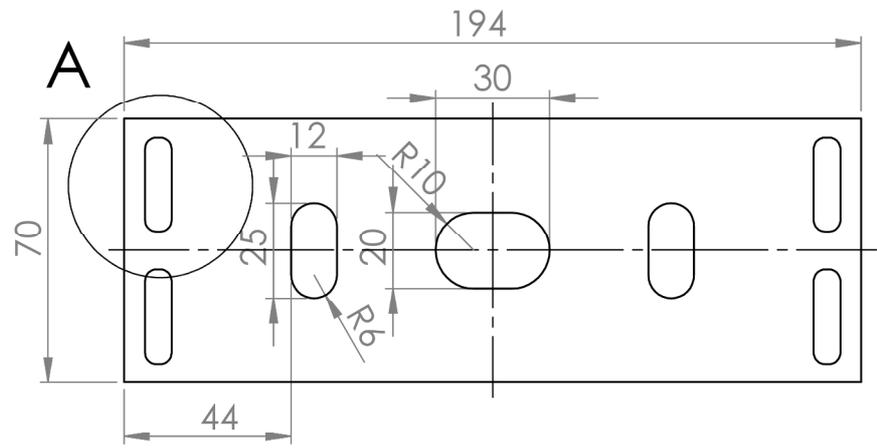
F

F



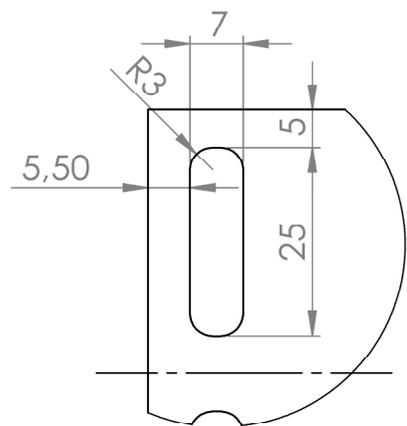
E

E



D

D



C

C

**DETAIL A**  
**MAßSTAB 1 : 1**

B

B

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m



ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

PROJEKT: **Prototyp  
Drahtstiftrichtmaschine**

A

A

	NAME	DATUM	ZUSATZINFORMATION
GEZEICHNET	HÖLLMÜLLER	SEPTEMBER 2017	
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			
PRODUKTION			
QUALITÄT			
			WERKSTOFF: <b>Aluminium</b>
			GEWICHT:

BENENNUNG: <b>Platte horizontal</b>	
ZEICHNUNGSNR. <b>C02-P-11</b>	<b>A4</b>
MASSTAB:1:2	BLATT 1 VON 1

4 3 2 1