

---

# **BACHELORARBEIT**

---

Herr  
**Max Reuter**

**Untersuchung des Einsatzes  
von Robotern  
in der VSM GmbH  
zur Erhöhung  
der Produktivität  
an CNC-Drehmaschinen**

Mittweida, 2022



Fakultät Ingenieurwissenschaften

---

# **BACHELORARBEIT**

---

## **Untersuchung des Einsatzes von Robotern in der VSM GmbH zur Erhöhung der Produktivität an CNC-Drehmaschinen**

Autor:

**Herr**

**Max Reuter**

Studiengang:

**Mechatronik**

Seminargruppe:

**ME17wA-BS**

Erstprüfer:

**Prof. Dr.-Ing Jörg Hübler**

Firmenbetreuer:

**Dipl. -Ing. Peter Lichtenstein**

Einreichung:

**Mittweida, 17.07.2022**

Verteidigung/Bewertung:

**Mittweida, 2022**

# **BACHELOR THESIS**

---

## **Analyzing the use of robots in the VSM GmbH to increase productivity on CNC lathes**

author:

**Mr.**

**Max Reuter**

course of studies:

**Mechatronics**

seminar group:

**ME17wA-BS**

first examiner:

**Prof. Dr.-Ing Jörg Hübler**

second examiner:

**Dipl. -Ing. Peter Lichtenstein**

submission:

**Mittweida, 17.07.2022**

defence/ evaluation:

**Mittweida, 2022**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Reuter, Max:

Untersuchung des Einsatzes von Robotern in der VSM GmbH zur Erhöhung der Produktivität an CNC-Maschinen. - 2022. - 7, 53, 9 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften,  
Bachelorarbeit, 2022

## **Referat:**

Ziel dieser Arbeit soll sein, eine Entscheidung über die Wirtschaftlichkeit der Roboterautomation an CNC-Drehmaschinen in der VSM GmbH zu treffen. Der Stand der heutigen Automatisierung ist für den Schwerpunkt Robotik genauer erläutert. Für die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit dient die Analyse des Teilespektrums der VSM GmbH. Dabei wird auf das Gewicht, dem verwendeten Halbzeug, der Stückzahl und der Bearbeitungszeit für die jeweiligen betrachteten Aufträge eingegangen. Für eine Roboterautomation an der CNC-Drehmaschine und deren Peripherie sind mögliche Lösungsansätze aufgeführt. Zusammen mit einer realistischen Kostenbetrachtung und der Auswertung aus den Analysen sowie Praxisarbeiten, lässt sich die einleitende Fragestellung klären und eine Aussage über die Rentabilität der Anschaffung einer Roboterautomation für die VSM GmbH treffen.

# Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Betriebliche Aufgabenstellung .....</i>	1
1.2 <i>Zielsetzung.....</i>	2
<b>2 Automatisierung und Industrie 4.0.....</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Begriffsdefinitionen.....</i>	3
2.2 <i>Geschichte der Industriellen Revolution .....</i>	4
2.2.1 <i>Erste industrielle Revolution .....</i>	5
2.2.2 <i>Zweite industrielle Revolution .....</i>	5
2.2.3 <i>Dritte industrielle Revolution .....</i>	5
2.2.4 <i>Vierte industrielle Revolution .....</i>	5
2.3 <i>Automatisierung Heute und Morgen .....</i>	6
2.3.1 <i>Ziele der Automatisierung.....</i>	7
2.3.2 <i>Einsatzgebiete.....</i>	7
<b>3 Robotik in der Industrie .....</b>	<b>9</b>
3.1 <i>Definition von Robotern.....</i>	10
3.2 <i>Industrieroboter .....</i>	11
3.3 <i>Kollaborative Roboter (Cobots) .....</i>	13
3.4 <i>Aufbau und Struktur .....</i>	14
3.5 <i>Anwendungsgebiete und ihre Aufgaben.....</i>	15
3.6 <i>Produktionssteigerung durch manlosen Betrieb.....</i>	15
3.7 <i>Sicherheit .....</i>	16
<b>4 Roboterautomation in der VSM GmbH.....</b>	<b>17</b>
4.1 <i>Theoretische Untersuchungen.....</i>	18
4.1.1 <i>Fertigung im Unternehmen.....</i>	18
4.1.2 <i>Vorhandenes Bearbeitungszentrum VSM GmbH.....</i>	19
4.1.3 <i>Implementierung eines Robotersystems.....</i>	20

4.1.3.1	Konzeption.....	21
4.1.3.2	Planung.....	22
4.1.3.3	Implementierung .....	24
4.1.4	Kosten .....	24
4.1.5	Wirtschaftlichkeit .....	26
4.2	<i>Praktische Untersuchungen</i> .....	26
4.2.1	Erfahrungsbericht Messe-Exponat .....	27
4.2.2	Analyse Teilespektrum.....	30
4.2.3	Automatisierungslösung Variantenvergleich.....	43
4.2.3.1	SINUMERIK Run MyRobot/ Easy Connect .....	43
4.2.3.2	HandlingTech ecoZ.....	46
4.2.4	Kostenbetrachtung.....	48
4.2.5	Auswertung der Wirtschaftlichkeit .....	52
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>53</b>

**Literatur 55**

**Anlagen 59**

**Anlagen, Teil 1..... A-I**

**Anlagen, Teil 2..... A-II**

**Selbstständigkeitserklärung**

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die vier Revolutionen der Industrie .....	4
Abbildung 2: Bereiche der Produktautomatisierung .....	7
Abbildung 3: Typische Konfiguration eines Industrieroboters .....	10
Abbildung 4: Scara-Roboter .....	12
Abbildung 5: Dual Arm Roboter .....	12
Abbildung 6: UT 560x1500 CNC .....	19
Abbildung 7: CNC-Bearbeitungszentrum der VSM GmbH .....	20
Abbildung 8: VSM GmbH Bereitstellungswagen für das CNC-Drehen.....	21
Abbildung 9: Messe-Exponat im CAD-Programm SolidWorks .....	27
Abbildung 10: Messe-Exponat Grundrahmen in der Fertigungshalle am 13.06.2022.....	28
Abbildung 11: Messe-Exponat Gehäuse in der Fertigungshalle am 22.06.2022 .....	28
Abbildung 12: Messe-Exponat mit Roboter in der Fertigungshalle am 23.06.2022 .....	29
Abbildung 13: Teilespektrum nach Bauteildurchmesser .....	31
Abbildung 14: Teilespektrum nach Bauteillänge .....	32
Abbildung 15: Teilespektrum nach Stückzahl pro Produktionsauftrag .....	33
Abbildung 16: Teilespektrum nach Gewicht.....	34
Abbildung 17: Teilespektrum nach Bauteildurchmesser vom 11.05 - 13.05.2022 .....	35
Abbildung 18: Teilespektrum nach Bauteillänge vom 11.05 - 13.05.2022.....	36
Abbildung 19: Teilespektrum nach Stückzahl vom 11.05 – 13.05.2022 .....	36
Abbildung 20: Teilespektrum nach Gewicht vom 11.05 – 13.05.2022.....	37



---

Abbildung 21: Teilespektrum nach Bauteildurchmesser vom 16.05 - 18.05.2022.....	38
Abbildung 22: Teilespektrum nach Bauteillänge vom 16.05 - 18.05.2022 .....	38
Abbildung 23: Teilespektrum nach Stückzahl vom 16.05 – 18.05.2022.....	39
Abbildung 24: Teilespektrum nach Gewicht vom 16.05 – 18.05.2022 .....	39
Abbildung 25: Bearbeitungszeiten an der CNC-Drehmaschine vom 11.05-18.05.2022...	42
Abbildung 26: SINUMERIK Run MyRobot /Easy Connect .....	43
Abbildung 27: Programmablauf zum Bestücken von Werkzeugmaschinen für einen Greifer .....	44
Abbildung 28: HandlingTech ecoZ .....	46

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundstruktur eines Industrieroboters.....	14
Tabelle 2: Gefährdungsbeurteilung für den Einsatz eines Roboters an der CNC-Drehmaschine in der VSM GmbH.....	23
Tabelle 4: VSM GmbH Teilespektrum vom 11.05 – 13.05.2022 .....	35
Tabelle 5: VSM GmbH Teilespektrum vom 16.05 – 18.05.2022 .....	37
Tabelle 6: VSM GmbH Aufträge für die CNC-Drehbearbeitung nach Bearbeitungszeit im Zeitraum vom 11.05 – 18.05.2022 .....	41
Tabelle 7: Kostenüberschlag für die Anschaffung eines Roboters zur Maschinenbestückung.....	48

## Abkürzungsverzeichnis

<b>CAD</b>	Computer-aided Design
<b>CNC</b>	Computerized Numerical Control
<b>DGUV</b>	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
<b>E/A</b>	Eingabe/ Ausgabe
<b>EN</b>	Europäische Norm
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>EUR</b>	Euro
<b>g</b>	Gramm
<b>GfA</b>	Gesellschaft für Arbeitswissenschaft
<b>h</b>	Stunde
<b>IAB</b>	Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung
<b>IFR</b>	International Federation of Robotics
<b>ISO</b>	International Organisation for Standardization
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>min</b>	Minute
<b>mm</b>	Millimeter
<b>MRK</b>	Maschinen-Roboter Kollaboration
<b>NC</b>	Numerical Control
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controle
<b>Stk</b>	Stück
<b>TCP</b>	Tool Center Point

**VDI** Verein Deutscher Ingenieure



# 1 Einleitung

Technologie ist seit jeher ein maßgebender Faktor für die Gesellschaft und des menschlichen Lebens. Angefangen mit der Entdeckung des Feuers, über die Erfindung der Dampfmaschine bis hin zu Robotern mit künstlicher Intelligenz. Sie alle sind ein entscheidender Fortschritt in der Entwicklung des Menschen gewesen und haben diesen in seiner Lebensweise nachhaltig verändert.

Besonders stark wurde die Industrie vom technologischen Wandel betroffen. Über Jahrhunderte hinweg gab es zahlreiche Umbrüche, die die verschiedensten Arbeitssektoren grundlegend veränderten. Heute sprechen wir dabei von Industrie 4.0, einem Zeitalter der Digitalisierung, Automatisierung und Robotern mit eigener künstlicher Intelligenz.

Auf diversen Fachmessen werden immer wieder neue digitale Möglichkeiten für Unternehmen angeboten, um ihre Produktivität zu steigern und im Marktwettbewerb mithalten zu können.

Digitalisierung und Industrie 4.0 sind für den Maschinen- und Anlagenbau hochrelevant. So stellen eine digitale Vernetzung und digitale Geschäftsmodelle zunehmend eine große Herausforderung für viele Maschinenbauunternehmen dar. Auch die Arbeitswelt wird damit stark beeinflusst. Ein gutes Zusammenspiel zwischen Menschen, Technik und Organisation ist unvermeidbar.

## 1.1 Betriebliche Aufgabenstellung

Durch die Praktikumsarbeit in Kooperation mit der VSM GmbH Maschinen- und Anlagenbau in Großrückerswalde wurde erstmalig ein Roboter für ein eigenständiges Projekt innerhalb der Firma verwendet. Das Unternehmen selbst ist spezialisiert auf Kleinteilefertigung und hat mit Roboterautomation zuvor wenig Kontakt gehabt. Im Zusammenhang mit dem Praktikum und dieser Arbeit erweitert das Unternehmen ihre Möglichkeiten und lernt die Robotertechnologie in der eigenen Fertigung kennen.

Die VSM GmbH ist stets bemüht, mit der aktuellen technischen Entwicklung mitzuhalten. Daher sucht sie nach Möglichkeiten, um ihre Produktivität und ihren Umsatz jährlich zu steigern. Als Neuheit im Unternehmen darf ich im Rahmen meiner Bachelorarbeit den Robotereinsatz an CNC-Drehmaschinen untersuchen, um neue Ideen für eine optimierte Fertigung zu evaluieren.

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Möglichkeit der Roboterautomation für die VSM GmbH für die CNC-Drehbearbeitung zu erschließen. Dafür soll das Bearbeitungszentrum sowie Teilespektrum im Unternehmen analysiert und Ideen gefunden werden, um einen Roboter zu integrieren. Für das Unternehmen soll der Roboter nach Arbeitsschluss für 2-3h autonom weiter tätig sein, um die Produktivität zu steigern. Dafür gilt es die Voraussetzungen zu definieren und Problemstellungen näher zu erläutern.

Die Forschungsfrage für diese Arbeit lautet:

Ist eine Roboterautomation für einen mannlosen Betrieb nach Arbeitsschluss an einer CNC-Drehmaschine für die VSM GmbH rentabel?

und

Welche Möglichkeiten gibt es zur Umsetzung einer Roboterautomation für CNC-Drehmaschinen?

## 2 Automatisierung und Industrie 4.0

Die Arbeitswelt ist stetig im Wandel und befindet sich derzeit im Übergang zur Industrie 4.0. Im Zusammenhang mit der vierten industriellen Revolution stellt die Automatisierung einen entscheidenden Schritt dar. Das Ziel ist eine wirtschaftliche Produktion durch dezentral gesteuerte, sowie autonome Prozesse. Die Vernetzung von Maschinen, Robotern, Werkstücken und Mitarbeitern nimmt durch die Digitalisierung immer weiter Gestalt an [1, S. 57].

In diesem Kapitel werden zunächst die Begriffe Automatisierung und Industrie 4.0 erläutert. Weiterhin wird die Geschichte bis zur vierten industriellen Revolution aufgeführt und zum Schluss ein aktueller Stand der Technik gegeben.

### 2.1 Begriffsdefinitionen

Unter Automatisierung versteht sich die Einführung von Arbeitsweisen und Prozessen, bei denen der Mensch selbst nicht unmittelbar tätig zu werden braucht, sondern nur zur Überwachung dient. Alle Prozesse inklusive Steuerung, Regelung und teilweise auch Kontrolle erfolgen dabei selbstständig [2].

Es kann grob unterschieden werden in:

1. Verfahrensautomatisierung = Automatisierung einzelner Arbeitsvorgänge
2. Prozessautomatisierung = Automatisierung von Produktionsprozessen
3. Systemautomatisierung = Automatisierung der gesamten Herstellung eines Produktes



„Das Schlagwort Industrie 4.0 beschreibt einen Umbruch im produzierenden Sektor. Leitbild der Industrie 4.0 ist eine hochautomatisierte und vernetzte industrielle Produktion- und Logistikkette. Dabei verschmelzen virtuelle und reale Prozesse auf der Basis sogenannter cyberphysischer Systeme. Dies ermöglicht eine hocheffiziente und hochflexible Produktion, die Kundenwünsche in Echtzeit integriert und eine Vielzahl von Produktvarianten ermöglicht.“ [3, S. 87]

Laut dem Gabler Wirtschaftslexikon ist Industrie 4.0 ein Marketingbegriff. Im Zusammenhang mit der vierten Industriellen Revolution zeichnet sie sich durch Individualisierung, Hybridisierung der Produkte und Integration von Kunden und Geschäftspartnern aus. Sie befasst sich mit der Vernetzung und Intelligenz von Maschinen. Weitere Anwendungsfelder der Industrie 4.0 sind: Mobilität, Gesundheit, Klima und Energie.[4]

## 2.2 Geschichte der Industriellen Revolution

Schon seit den Anfängen des 18. Jahrhunderts war der Maschinenbau ein kommerzieller Treiber der technologischen Entwicklung. Diese Entwicklung lässt sich in verschiedene Stufen der industriellen Revolution aufteilen (Abbildung 1). [5, S. 31]

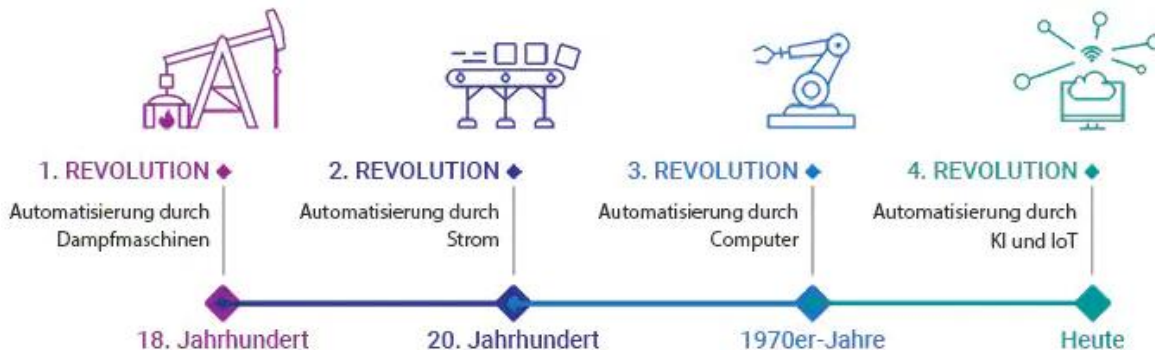


Abbildung 1: Übersicht über die vier Revolutionen der Industrie [6]

### **2.2.1 Erste industrielle Revolution**

Die erste industrielle Revolution begann im 18. Jahrhundert und wirkte weit bis in das 19. Jahrhundert hinein. Es kam zu einer Ablösung der mechanischen Handwerksproduktion durch maschinelle Produktionen. Ein entscheidender technologischer Fortschritt war dabei die Erfindung der Dampfmaschine und des mechanischen Webstuhls. Weitere Erfahrungen im Bereich der Metallverarbeitung führte zur Erfindung der ersten Eisenbahn Anfang des 19. Jahrhunderts. [5, S. 31]

### **2.2.2 Zweite industrielle Revolution**

Ende des 19. Jahrhunderts bis Mitte des 20. Jahrhunderts entstanden im Zuge der zweiten industriellen Revolution eine arbeitsteilige Massenproduktion sowie standardisierte Arbeitsprozesse. Auslöser dafür war die Automatisierung durch Strom. Die elektrische Energie brachte neue Technologien wie Einzelantriebe, Glühlampen und dem Telefon hervor. Gerade die Entwicklung des Fließbands von Henry Ford und die strikte Arbeitsplanung nach Frederick W. Taylor sind ein besonderes Merkmal für dieses Zeitalter. [5, S. 31]

### **2.2.3 Dritte industrielle Revolution**

Mit der Unterbrechung durch den ersten und zweiten Weltkrieg wurde erst in den 50er und 60er Jahren des 20. Jahrhunderts die dritte industrielle Revolution eingeleitet. Diese war geprägt durch den Fortschritt der Elektronik. Der erste kommerziell nutzbare Computer kam auf dem Markt und revolutionierte die Verwaltung in vielen Firmen. Ebenso ermöglichte der technologische Fortschritt in der Mikroelektronik neue Möglichkeiten der Automatisierung im Maschinenbau. So wurden erste CNC-Werkzeugmaschinen auf dem Markt gebracht und das weltweit erste Roboter-Produktionsunternehmen Unimation von George Devol und Joseph F. Engelberger gegründet. [5, S. 31 f.]

### **2.2.4 Vierte industrielle Revolution**

Das neue Jahrtausend läutete schließlich die aktuelle vierte industrielle Revolution ein, auch bekannt als Industrie 4.0. Gekennzeichnet wird sie durch Digitalisierung. Ein großflächiges Informationsnetz über das Internet, auch bekannt als Internet der Dinge, verschafft der Wirtschaft einen immensen Vorteil an Informationsverfügbarkeit und Transparenz, wodurch die Wirtschaftlichkeit eine drastische Steigerung erfährt. Durch die Erweiterung der maschinellen Produktion mit Sensoren und Aktoren wird die physische Welt mehr und mehr mit der digitalen Welt verbunden werden. [5, S. 34 ff.]

## 2.3 Automatisierung Heute und Morgen

Laut dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) sorgt die zunehmende Automatisierung in der Industrie in vielen Betrieben in Deutschland und auch anderen Ländern zu einer Umschichtung von Arbeitsplätzen und Arbeitskräften. Durch neue Technologien gehen Arbeitsplätze verloren, aber es werden ebenso in neuen Bereichen Arbeitsplätze geschaffen. [7, S. 1 ff.]

Es gibt eine Vielzahl an technologischen Möglichkeiten die heute in der Automatisierung eine entscheidende Rolle spielen. Die aktuelle Technik bietet vollkommen neue Grundlagen und Ideen, wie zum Beispiel:

- die Bereitstellung mehrerer und genauerer Informationen in Echtzeit
- die unterstützenden und ersetzenden autonomen Systeme auf menschliche Arbeit
- die Mensch-Technik Interaktion durch Virtualisierung und Augmentierung
- die Mensch-Technik-Kollaboration und -Kooperation

Die Gestaltung der Arbeit der Zukunft ist eine Kooperation zwischen Menschen und Maschine. Die qualitative menschliche Arbeit darf dabei nicht vernachlässigt werden. Roboter sollen zur Entlastung des Menschen eingesetzt werden, um Prozesse fehlerfrei und präzise zu absolvieren. [8, S. 162]

Viele Betriebe müssen sich den neuen technologischen Gegebenheiten erst anpassen. Es kommt vermehrt zu einer stärkeren Ausrichtung der Produktion an den tatsächlichen Kundenbedarf (Mass Customization). Dabei wird erst spät im Prozess der Konstruktion eine Variantenbildung vollzogen, wodurch Losgrößen und Durchlaufzeiten deutlich reduziert werden. [9, S. 17]

### 2.3.1 Ziele der Automatisierung

Automatisierung ist immer mit einem gewissen Aufwand verbunden, der sich in einer wirtschaftlichen Steigerung zukunftsblickend positiv widerspiegeln soll. Folgende Ziele lassen sich über eine Automatisierung der Prozesse Produktentwicklung, Produktionsplanung und Produktion erreichen:

- Erhöhung der Produktivität
- Flexiblere Fertigung
- Kürzere Fertigungszeiten
- Entlastung menschlicher Arbeit
- Kostensenkung
- Qualitätssteigerung

### 2.3.2 Einsatzgebiete

In vielen Branchen sind bereits vollautomatisierte Produktionsabläufe implementiert. Abbildung 2 zeigt die Bereiche mit dem größten Potenzial für eine Produktautomatisierung.

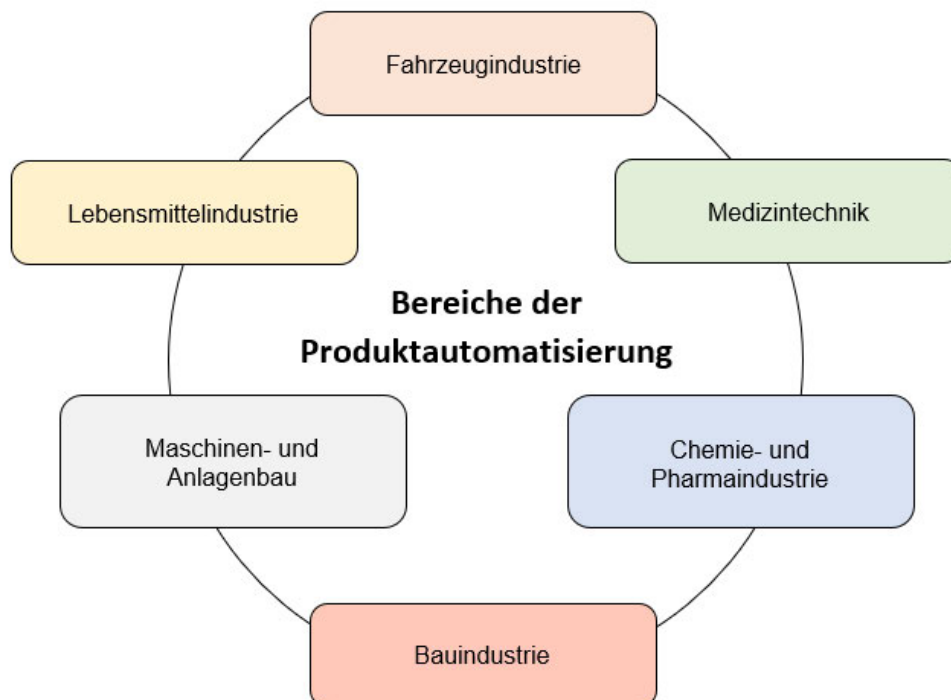


Abbildung 2: Bereiche der Produktautomatisierung

Ausgehend nach den spezialisierten Aufgaben eines Roboters können sie weiterhin

- im Weltall oder Wasser
- in Bergwerken oder Tunnels
- im Mikro- und Nanobereich
- in der Abfallentsorgung
- in der Ausbildung und Unterhaltung
- als Assistent des Menschen

eingesetzt werden [10, S. 20]

### 3 Robotik in der Industrie

Seit den 1970er Jahren fand die Robotertechnologie in den ersten Betrieben der USA und Japan ihren Einzug. Dabei handelte es sich noch um unintelligente Roboter. Ihre Aufgabe war es die Arbeitskräfte von monotonen und gefährlichen Tätigkeiten zu entlasten. Mit dem technologischen Fortschritt hat sich das Bild der Robotertechnologie in den Jahren drastisch gewandelt. Über die Einbindung von Sensoren und Aktoren kam es zur Entstehung von Robotern mit künstlicher Intelligenz. [11]

Weltweit ist der Einsatz der Robotertechnologie deutlich gestiegen. Gerade Deutschland ist im Vergleich zu den anderen EU-Ländern stärker automatisiert. Laut der International Federation of Robotics (IFR) ist Deutschland der fünft größte Robotermarkt mit fast 6% aller installierten Roboter weltweit. [12]

Die Robotik bietet vielen Unternehmen zahlreiche positive Aspekte, wie z. B.:

- Reduzierung der Betriebskosten
- Verbesserung der Produktqualität
- Verbesserte Arbeitsbedingungen
- Steigerung der Produktionsleistung und Fertigungsflexibilität
- Steigerung des Ertrags und Reduzierung der Materialabfälle
- Reduzierung des Arbeitskräftewechsels
- Beanspruchung kleinerer Produktionsflächen

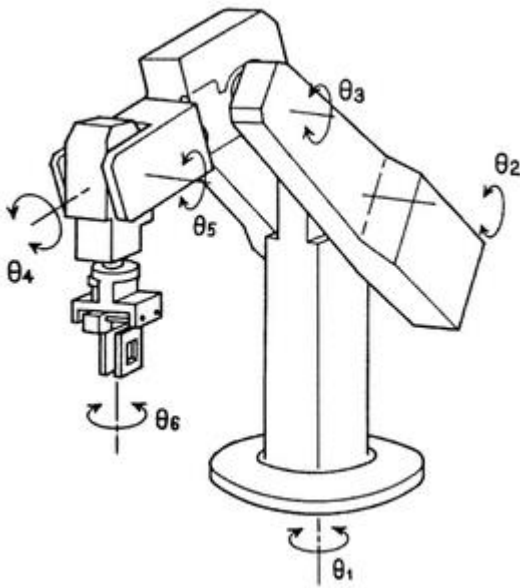
Es gibt unzählige Varianten von Robotern. Man kann sie grob in stationäre und mobile Roboter einteilen. Stationäre Roboter haben verschiedene Kinematiken und Freiheitsgrade, wodurch sie wiederum in serielle und parallele Kinematiken unterteilt werden. Mobile Roboter haben dahingehend unterschiedliche Fortbewegungsmechanismen, wie rollend, schreitend, fliegend hüpfend oder schwimmend.

Beginnend mit der Grunddefinition eines Roboters, wird in den nächsten Abschnitten auf die für diese Arbeit relevanten Industrieroboter eingegangen, sowie auf Kollaborationsfähige Roboter, welche ebenso eine alternative Rolle spielen können.

### 3.1 Definition von Robotern

Nach der VDI-Richtlinie 2860 (1990) lautet eine allgemeine Definition eines Roboters: „Ein Roboter ist ein frei und wieder programmierbarer, multifunktionaler Manipulator mit mindestens drei unabhängigen Achsen, um Materialien, Teile, Werkzeuge oder spezielle Geräte auf programmierten, variablen Bahnen zu bewegen zur Erfüllung der verschiedensten Aufgaben.“ [10, S. 18]

Ausgehend von dieser Definition wird ein Roboter in der Konfiguration von Abbildung 3 beschrieben.



**Abbildung 3: Typische Konfiguration eines Industrieroboters [10, S. 19]**

Bezieht man die aktuelle technologische Entwicklung mit in die Definition ein, so muss diese erweitert werden. Eine präzisere Definition lautet:

„Roboter sind sensumotorische Maschinen zur Erweiterung der menschlichen Handlungsfähigkeit. Sie bestehen aus mechatronischen Komponenten, Sensoren und rechnerbasierten Kontroll- und Steuerfunktionen. Die Komplexität eines Roboters unterscheidet sich deutlich von anderen Maschinen durch größere Anzahl von Freiheitsgraden und die Vielfalt und den Umfang seiner Verhaltensform.“ [10, S. 19]

## 3.2 Industrieroboter

Der Industrieroboter wird meist als spezielles Handhabungsgerät betrachtet. Sein wesentlicher Unterschied zu anderen Handhabungsgeräten ist sein universeller Einsatz und seine freie Programmierbarkeit. Nach der VDI-Richtlinie 2860 wird der Industrieroboter auf folgender Weise definiert:

„Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wege bzw. Winkeln frei programmierbar (d.h. ohne mechanischen Eingriff vorzugeben bzw. änderbar) und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabe- oder andere Fertigungsaufgaben ausführen.“ [13, S. 2]

Die Aufgabe jedes Industrieroboters ist es einen Effektor gezielt im Raum zu führen. Effektoren sind Greifer, Messspitzen oder anderweitige Bearbeitungswerkzeuge. Sie befinden sich am Roboterarm und interagieren mit der Umgebung. Der charakteristische Punkt jedes Effektors ist der Tool Center Point (TCP). Dieser wird zur exakten Positionierung verwendet.

Vorteile des Industrieroboters sind seine hohen Geschwindigkeiten, Präzision, flexibler Programmierbarkeit und Sicherheit. Durch seine feste Installation wird er für kurze Produktionszyklen und Durchlaufzeiten verwendet.



Es wird in zwei typische Kinematiken für Industrieroboter unterschieden.

Serieller Roboter: Eine kinematische Kette führt von der Roboterbasis zum Endeffektor (offene kinematische Kette)

z.B.: 6-Gelenk-Knickarmroboter, SCARA Roboter (Abbildung 4)



**Abbildung 4: Scara-Roboter [14, S. 8]**

Paralleler Roboter: Mehrere kinematische Ketten führen von der Roboterbasis zum Endeffektor (geschlossene kinematische Kette)

z.B.: Dualarm-Roboter (Abbildung 5), Leichtbauroboter



**Abbildung 5: Dual Arm Roboter [14, S. 8]**

### 3.3 Kollaborative Roboter (Cobots)

Um eine dynamische Produktionsumgebung in industriellen Betrieben zu schaffen, erfordert es eine Kooperation zwischen Mensch und Maschine. Dieses System kann dann gezielt auf Veränderungen des Marktes, wie Losgrößen oder Produktform reagieren.

Im Gegensatz zu den Industrierobotern bieten die Cobots eine Möglichkeit der direkten physikalischen Zusammenarbeit mit Menschen ohne weitere Schutzvorrichtungen. Diese Zusammenarbeit wird auch als Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) bezeichnet. Die Cobots bieten gegenüber dem Industrieroboter eine einfache Möglichkeit der Bedienung, daher werden sie für Prozesse mit einer hohen Variantenvielfalt und kleinen Stückzahlen verwendet. Gerade wenn es mehr auf Flexibilität als auf Geschwindigkeit ankommt sind sie von Vorteil. Um eine gewisse Sicherheit zu garantieren müssen sie jedoch langsamer arbeiten, gerade wenn sie im selben Bereich wie Menschen agieren. Ideal sind Cobots für Palettierung, Maschinenbeladung und Entladung, Kommissionierung, Verpackung und Prüfung.

Jedoch sind die Cobots aufgrund ihrer vielfältigen Vorteile lediglich eine Marktnische. Laut dem World Robotics Report der IFR (2019), betrug der Anteil an kollaborativen Robotern im Verhältnis zur Gesamtmenge an installierten Robotersystemen nur 3,24%.

Trotz ihrer Vorteile zum Industrieroboter sind die Cobots verhältnismäßig selten im Einsatz. Für die meisten Unternehmen bieten sie keine ausreichende Wirtschaftlichkeit dar. Durch die eingeschränkte Bewegungsgeschwindigkeit und den erhöhten Sicherheitsanforderungen können bestimmte Produktionszahlen nicht eingehalten werden. So bieten auch viele Arbeitsplätze nicht die Voraussetzungen für den Einsatz von Cobots und müssen auf Schutz des Arbeitspersonals erst verifiziert werden. Außerdem sind oftmals die vorhandenen Aufgaben im Unternehmen zu einfach oder zu komplex, wodurch meist auf eigenes Personal oder einem effizienteren stationären Industrieroboter zurückgegriffen wird. [15]

### 3.4 Aufbau und Struktur

Jeder Industrieroboter besteht aus einer grundlegenden Struktur. Alle Strukturelemente mit ihren individuellen Aufgaben werden in Tabelle 1 aufgelistet.

**Tabelle 1: Grundstruktur eines Industrieroboters**

<b>Strukturelement</b>	<b>Aufbau und Aufgaben</b>
Steuerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anweisung der Bewegung nach Programmablauf</li> <li>• Überwachung</li> </ul>
Kinematik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verbunden durch Gelenke und Achsen</li> <li>• besitzt mindestens 3 Freiheitsgrade</li> <li>• beinhaltet grundlegende Struktur des Roboters</li> <li>• Unterscheidung in serielle/parallele Kinematik</li> </ul>
Antrieb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bewegt Glieder der kinematischen Kette</li> <li>• besteht aus Motor, Getriebe und Regelung</li> <li>• Ausführung in elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch</li> </ul>
Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intern: stellt Informationen über Position der kinematischen Kette bereit z. B.: Drehgeber, Interferenzmuster, Lichtschranke</li> <li>• Extern: gibt dem Roboter Rückmeldung über die Umgebung ermöglicht Reaktion auf ungeplante Veränderungen</li> </ul>
Greifsystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ermöglicht Interaktion mit dem Werkstück</li> </ul>

### **3.5 Anwendungsgebiete und ihre Aufgaben**

Robotik kann in vielen Branchen eine große Unterstützung bieten, daher greifen immer mehr Unternehmen auf diese Technik zurück. Industrieroboter findet man im Bereich der Automobilität, Luft und Raumfahrt, Nahrung, Textil, Holz, Papier, Gummi und Kunststoff, Chemie und Pharmazie, Mechanik, Bau, Gießerei, Keramik und Stein, sowie teilweise auch in der Landwirtschaft. [14, S. 10]

Die Haupttätigkeiten eines Roboters sind dabei:

- Schutzgasschweißen, Laserschweißen, Punktschweißen, Lötten
- Palettieren, Verpacken und Kommissionieren
- Be- und Entladen anderer Maschinen
- Oberflächenbehandlungen wie Lackieren, Kleben, Beschichten
- Mechanische Bearbeitung, Laserschneiden, Wasserstrahlschneiden
- Bestücken, Montieren, Demontieren, Einlegen, Befestigen
- Messen, Prüfen, Testen

### **3.6 Produktionssteigerung durch mannlosen Betrieb**

Roboter können sehr gut einfache, sich wiederholende Tätigkeiten übernehmen. So zum Beispiel die Montage von Einzelteilen oder das Bestücken einer Maschine. Mit dem Einsatz eines Roboters kommt es zur Einsparung von Personalkosten, da dieser auch nach Arbeitsschluss hinweg weiterarbeiten kann. Wichtig dafür ist ein selbstständiges und sicheres Arbeiten des Roboters [16]

Vorteile, die der Einsatz eines Industrieroboters mit sich bringt, sind:

- Reduzierung der Stillstandszeiten von Bearbeitungsmaschinen
- Mengensteigerung von 10 - 30%
- geringere Gesamtdurchlaufzeit
- höhere Wiederholgenauigkeit
- gleichbleibende Qualität
- weniger Materialkosten für Ausschuss
- bessere Verfügbarkeit

### 3.7 Sicherheit

Die Sicherheit spielt in der Roboterautomation einen entscheidenden Faktor. So kann es im Vergleich zu anderen Gefahren mit Maschinen wie Einguetschen zwischen beweglichen Teilen, auch zu unvorhersehbaren Gefahren kommen. Aufgrund von komplexen Fertigungsabläufen oder einer Vielzahl an verketteten Robotern ist eine Gefahr meist durch reine Beobachtung kaum zu erkennen. Unfallursachen können u. a. das Versagen von Bauteilen oder das Umgehen von Schutzeinrichtungen sein. [14, S. 12]

Viele Roboter haben schon integrierte Sicherheitsfunktionen, wie zum Beispiel:

- Sichere Reduzierung der Geschwindigkeit
- Sichere Begrenzung des Arbeitsraums
- Sichere Achsspezifische Begrenzung des Bewegungsraumes
- Sichere Überwachung bei Stillstand
- Sichere Bremsrampen

Weiterhin haben Roboter Möglichkeiten zum Anschluss anderer Schutzeinrichtungen, wie Lichtvorhang oder Schutztürschalter. [14, S. 32]

Um eine Gefährdung von Roboteranlagen zu vermeiden, müssen diese mit einer Schutzeinrichtung umgeben sein. Abseits von den kollaborativen Robotern, bei der eine Mensch-Roboter Interaktion erwünscht ist, werden für Industrieroboter Schutzzäune, feste Verkleidungen oder Rolltore eingesetzt [14, S. 36]

Arbeitsplätze mit Cobots sollen komplett oder zum Teil ohne Schutzzäune auskommen. Dafür steigen jedoch die Sicherheitsmaßnahmen am Roboter selbst, um ausreichend Schutz zu garantieren. Je nach Applikation kann ein Cobot mit einer Handführung, Kraft- / Leistungsbegrenzung oder einer Geschwindigkeits- / Abstandsüberwachung ausgestattet sein. Nach EN ISO 10218-1 und EN ISO 10218-2 gelten für kollaborative Roboter allgemein folgende Mindestanforderungen:

- Überwachung des Drehmoments / Kraft
- Überwachung der Geschwindigkeit
- Überwachung der Position

[14, S. 52 f.]

## 4 Roboterautomation in der VSM GmbH

Die VSM GmbH ist ein mittelständiges Unternehmen der Maschinen- und Anlagenbaubranche in Großrückerswalde im mittleren Erzgebirgskreis und ist spezialisiert auf Montage und Teilefertigung von Verpackungsmaschinen, Fördertechnik und artfremden Anlagen. In Zusammenarbeit mit den Firmen LaTeBi GmbH und Maschinenbau Bindemann GmbH bildet die Firma VSM GmbH eine 3 Partner Kooperation für innovative Lösungen im Bereich

- Blechbearbeitung
- mechanischen Bearbeitung
- Fertigung von Einzelteilen und Kleinserien
- Schaltschrankbau
- Sondermaschinenbau
- und globalen Montage- und Servicearbeiten.

Durch das vorangegangene Praktikum in der VSM GmbH zu dieser Arbeit wurde ein Messe-Exponat mit integriertem Roboter zur automatischen Entnahme auf Kundenwunsch und Ausgabe eines Werbemittels (MintCard) konstruiert. Dies war zugleich das erste Projekt im Unternehmen, welches sich unmittelbar mit einem Roboter beschäftigt. Die VSM GmbH war in der eigenen Produktion mit der Roboterautomatisierung zuvor weniger konfrontiert.

In diesem Kapitel werden zunächst theoretische Untersuchungen aufgeführt, wie eine Roboterautomatisierung aussehen kann und was zu beachten ist. Weiterhin wird eine praktische Untersuchung sich mit dem spezialisierten Einsatz eines Industrieroboters an einer CNC-Maschine in der VSM GmbH befassen und die Erfahrungen vom Praktikum mit einbeziehen.

## 4.1 Theoretische Untersuchungen

Das Hauptziel der Automatisierung einer CNC-Maschine besteht darin, die Kapazität der Maschine zu erhöhen. Welche Voraussetzungen die VSM GmbH bietet und wie eine Automatisierung aussehen könnte, wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

Um den Einsatz von Robotern in der VSM GmbH zu beurteilen, wird zunächst die Fertigung des Unternehmens speziell auf dem Bezug der CNC Drehbearbeitung betrachtet. Dabei werden verschiedene, gängige und wiederkehrende Produkte auf ihre Möglichkeit zur Roboterautomatisierung bewertet. Weiterhin wird für die Implementierung eines Robotersystems auf die Konzeption, Planung und Umsetzung eingegangen. Neben den technischen Gegebenheiten werden auch die Kosten für die Umsetzung betrachtet. Dabei wird in Anschaffungs- und Betriebskosten unterschieden. Am Ende des Kapitels wird die Wirtschaftlichkeit der Implementierung eines Roboters in die Fertigung für die VSM GmbH bewertet.

### 4.1.1 Fertigung im Unternehmen

Die Bearbeitung von Drehteilen in der VSM GmbH erfolgt über eine CNC-Drehmaschine sowie zwei konventionellen Drehmaschinen. Für die Roboterautomatisierung wird hierbei gezielt auf das CNC-Drehbearbeitungszentrum geschaut.

Der Fertigungsauftrag wird anhand einer Laufkarte aus dem ERP System bearbeitet. Dazu bekommt der Mitarbeiter am Bearbeitungszentrum den Auftrag mit Halbzeug an seinem Bereitstellungswagen durch den Mitarbeiter der Materialbereitstellung geliefert. Er arbeitet die Aufträge nach Fertigungsdatum ab. Das Halbzeug wird durch den Mitarbeiter in die Maschine gespannt und die passenden Werkzeuge werden für die Bearbeitung gerüstet. Danach beginnt die Programmierung der CNC-Maschine. Über ein NC-Programm wird beschrieben, wie die Maschine mit ihrem Werkzeug aus dem Halbzeug das fertige Teil herstellen soll. Die Programmierung erfolgt dabei direkt an der Maschine am Bedienpult. Nach Abschluss Rüsten und Programmieren, kann die eigentliche spanende CNC-Bearbeitung erfolgen.

### 4.1.2 Vorhandenes Bearbeitungszentrum VSM GmbH

„Ein Bearbeitungszentrum ist eine NC- (meist CNC-) Werkzeugmaschine, die zur Ausführung von mindestens zwei Bearbeitungsoperationen und zu automatischem Werkzeugwechsel aus einem Magazin oder einer ähnlichen Speichervorrichtung entsprechend dem Bearbeitungsprogramm geeignet ist.“ [17, S. 17]

Das Bearbeitungszentrum der VSM GmbH für die CNC Drehbearbeitung ist eine Zyklengesteuerte-Drehmaschine UT 560 von UNITECH-Maschinen GmbH. Sie eignet sich besonders für die Fertigung von Einzelteilen und Kleinserien. Mit einem großen Arbeitsraum, breiten Schiebetüren und Sichtfenster ist das Be- und Entladen von großen Werkstücken einfach zu handhaben.

Die exakte Anlagenbezeichnung lautet UT 560x1500 CNC (Abbildung 6). Diese ist ausgestattet mit einer Siemens-Steuerung SINUMERIK 828D und der Bedienoberfläche ShopTurn. Weiterhin ist ein leistungsstarker Spindelmotor, ein Schaltgetriebe mit elektronischer Getriebestufenumschaltung, eine 4-fach präzisionsgelagerte Arbeitsspindel, sowie ein Reitstock mit großem Pinolendurchmesser und -hub eingebaut. [18]



Abbildung 6: UT 560x1500 CNC [18]



Seit Februar 2016 steht die Maschine in der Fertigungshalle der VSM GmbH in Großrückerswalde (Abbildung 7) und wird kontinuierlich für die Bearbeitung von Einzelfertigungen und Kleinserien verwendet. Betrieben wird sie im 1-2 Schichtsystem je nach Auftragslage. Am Arbeitsplatz befindet sich weiterhin ein Bereitstellungswagen für die aktuell zu fertigenden Teile, einer dazugehörigen Werkbank mit Schraubstock und Werkzeugmontagebock, sowie einem Werkzeugschrank für die Aufbewahrung von Werkzeugen, Drehbacken und Drehfutter.



Abbildung 7: CNC-Bearbeitungszentrum der VSM GmbH

### 4.1.3 Implementierung eines Robotersystems

Für die Einbindung eines Robotersystems gilt es Vorüberlegungen zu treffen. Diese können in drei Schritten gegliedert werden: die Konzeption, die Planung und die Umsetzung der Implementierung eines Robotersystems an einer CNC-Maschine. Dies ist essenziell, um für den passenden Anwendungsfall die geeignete Auswahl für einen Roboter mit sicherem Arbeitsraum, einfacher Programmierung und zuverlässiger Maschinenanbindung zu treffen. [19, S. 14]

#### 4.1.3.1 Konzeption

Mit der Bewertung des Anwendungsfalls für die Einbindung eines Roboters in den Produktionsprozess beginnt die Konzeption. Dies soll im Rahmen dieser Arbeit die Maschinenbestückung der vorhandenen CNC-Drehmaschine in der VSM GmbH sein.

Dafür muss das Layout des Arbeitsbereiches und der Produktionsprozess „Drehbearbeitung mit automatischer Bestückung“ definiert werden. Das Teilespektrum wird im Kapitel 4.2.2 analysiert. Entscheidend ist das Gewicht der Teile, da dieses für die Auswahl des Roboters mit seiner entsprechenden Traglast essenziell ist. Ein passender Endeffektor trägt ebenso zu dieser maximalen Traglast bei. Scharfkantige Teile stellen ein erhöhtes Risiko bei der Automatisierung mit Robotern dar. Formstabile Teile mit Flächen zum Greifen sind optimal geeignet. Für einen reibungslosen Prozess des Roboters ist die Anlieferung der Teile entscheidend. Vorteilhaft ist eine vereinzelt und geordnete Anlieferung in Zwischenlagerplätzen. Lose Ablagen erhöhen den Automatisierungsaufwand und müssen zum Beispiel über zusätzliche Kameratechnik realisiert werden. Auch der Wechsel zwischen mehreren Teilen erhöht den Aufwand durch den eventuellen Austausch des Endeffektors. Die VSM GmbH nutzt für die Anlieferung der Teile für die CNC-Bearbeitung einen Bereitstellungswagen (Abbildung 8). Auf diesem sind alle zu fertigenden Teile lose angeordnet und werden fortlaufend bearbeitet.



**Abbildung 8: VSM GmbH Bereitstellungswagen für das CNC-Drehen**

Im Arbeitsbereich des Roboters ist auf dessen Positionierung zu achten. Für große Roboter mit hoher Reichweite müssen ein ausreichender Arbeitsraum und Sicherheitsbereich vorhanden sein. Bei schweren Tätigkeiten, schlechter Ergonomie oder gefährlichen Prozessen kann eine Roboterautomatisierung vorteilhaft sein, um Gefahren für die Mitarbeiter zu mindern. [19, S. 16]

Der Arbeitsraum an der CNC-Drehmaschine vor Ort ist begrenzt durch notwendige Werkbänke, Aufbewahrungsschränken und Zugangsbereichen. Für die Implementierung einer Roboterzelle an der CNC-Drehmaschine muss eine Umgestaltung des Arbeitsplatzes erfolgen. Die Anlage, Teil 1 zeigt eine Möglichkeit für das Layout des Arbeitsbereiches CNC-Drehen der VSM GmbH. Als Beispiel dient dabei die Roboterzelle ecoZ 200 von HandlingTech Automations-Systeme GmbH. In Kapitel 4.2.3.2 wird diese noch näher betrachtet. Die Roboterzelle ist mit einem Sicherheits-Laserscanner ausgestattet. Bei Betreten der rot markierten Not-Aus Zone folgt sofortiges Abschalten der Anlage. Die gelb gekennzeichnete Speed-Zone dient als Sicherheitsbereich und reduziert bei Betreten im laufenden Betrieb die Geschwindigkeit des Roboters. [20, S. 3]

#### **4.1.3.2 Planung**

Nachdem der Anwendungsfall genauer betrachtet und alle Gegebenheiten analysiert wurden, kann die Planung einer Roboterautomatisierung beginnen. Zunächst muss die Zielstellung durch den Robotereinsatz definiert werden. Die Aufgabenstellung lautete einen mannlosen Betrieb nach Arbeitsschluss zu gewährleisten, wobei der Roboter selbständig in der Lage sein soll eine CNC-Drehmaschine zu bestücken und fertige Teile zu lagern.

Es gilt eine Entscheidung zwischen mobilem Roboter als MRK Lösung oder einem stationären Roboter zu treffen. Für die mobile Variante steigt der Kostenfaktor für die zu erbringende Sicherheitstechnik und Programmieraufwand. Jedoch ist der stationäre Roboter fest eingebunden und die Maschine kann nur bedingt von Hand betrieben werden. Durch die Bedingung, den Roboter als fortlaufende Arbeitskraft nach Arbeitsschluss zu verwenden, sollte dieser flexibel gestaltet sein. Damit würde sich ein Roboter in der MRK oder ein Roboter im Einsatz ohne Schutzzaun am besten eignen.

Basierend auf das Teilespektrum gilt es eine Auswahl für den Roboter bezüglich seiner Flexibilität in der Anwendung zu treffen. Dabei sind die Schnittstellen zur Maschine mit einzubeziehen. Die Geometrie der Teile hat ebenso Auswirkungen auf die Gestaltung des Endeffektors. Für die VSM GmbH eignet sich ein Backengreifer für die Maschinenbestückung der internen CNC-Drehmaschine. Der Endeffektor sollte je nach Teilegröße flexibel angepasst und ausgetauscht werden können.

Ein weiterer Aspekt für die Auswahl des richtigen Roboters ist der Einsatzort am Arbeitsplatz an der Werkzeugmaschine. Für eine sichere Automation sollten die zu fertigenden Teile eine feste Position zum Aufnehmen und Ablegen des Roboters besitzen. Entscheidend für die Programmierung ist eine gleichbleibende Startposition, welche für den Roboter als Referenzpunkt dient. Erreichen kann dies u.a. ein Ablagetisch oder eine Teilerutsche.

Weiterhin gilt es am Arbeitsplatz Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Um ausreichend Sicherheit zu schaffen, können u.a. Lichtschranken und Kamerasysteme zur Gefahrenvermeidung verbaut werden. Dies ist abhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit des Roboters. In einer Gefährdungsbeurteilung werden alle Gefahren benannt und mögliche Schutzmaßnahmen aufgezählt. In Tabelle 2 ist dies für den Anwendungsfall an der CNC-Drehmaschine in der VSM GmbH vorgenommen wurden.

**Tabelle 2: Gefährdungsbeurteilung für den Einsatz eines Roboters an der CNC-Drehmaschine in der VSM GmbH**

Gefährdung	Schutzmaßnahmen
Kontakt mit Roboter bei gefahrbringender Bewegung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sicherer Arbeitsraum für Roboter</li> <li>- Mitarbeiterunterweisung vor Inbetriebnahme</li> <li>- Ausreichende Beleuchtung am Arbeitsplatz</li> <li>- Warnschilder, Bodenmarkierungen anbringen</li> <li>- Not-Aus leicht erreichbar</li> <li>- Reduzierte Geschwindigkeit</li> </ul>
Stoßen, Quetschen, Scheren, Einziehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trennende Schutzeinrichtung z. B.: Schutzzaun</li> <li>- Zustimmungstaster im Handprogrammiergerät</li> <li>- Geschwindigkeitsbegrenzung</li> </ul>
Unvorhersehbare Fehler durch Programmierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trennende Schutzeinrichtung</li> <li>- Programmierbarer Arbeitsraum</li> </ul>
Ungünstige Körperhaltung während der Bedienung des Roboters	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montage des Roboters auf Sockel</li> <li>- Optimierte Programmierung des Bahnverlaufs</li> </ul>

### **4.1.3.3 Implementierung**

Nach der Planung des Robotersystems und der hardwaremäßigen Realisierung kann dessen Implementierung und Programmierung erfolgen. Die geeignete Anbindung an die Werkzeugmaschine wurde vorab geplant und muss umgesetzt werden. Für die Einbindung von Sensoren ist auf sichere und fehlerfreie Kommunikation zwischen Roboter und Maschine zu achten. Je nach Alter der Maschine ist die Art der Kommunikation verschieden. Möglichkeiten zum Datenaustausch sind zum Beispiel: Ethernet, Profinet und Asi-Feldbus. Roboter besitzen unterschiedliche Schnittstellen für den Datenaustausch und sind daher zu prüfen und zu konzipieren.

Weiterhin wird ein Programm für den Roboter benötigt. Als Programmieroberfläche eignet sich ein Touchpad. Es vereinfacht die Programmierung und bietet eine schnelle Möglichkeit mit dem Roboter zu interagieren. [19, S. 26]

### **4.1.4 Kosten**

Die Kosten für eine Roboterautomatisierung werden unterteilt in Anschaffungskosten und Betriebskosten. Die durchschnittliche Amortisationszeit von Robotersystemen beträgt zwischen 3-4 Jahren.

Anschaffungskosten sind Kosten, die beim Erwerb des Robotersystem entstehen. Dazu gehört

- der Roboterarm
- die Peripherieprodukte wie Greifer, Kamera, Sensoren und Software
- die Integration der Anlage in den Produktionsbetrieb

Im Allgemeinen nimmt der Anschaffungspreis des Roboterarms rund ein Drittel der gesamten Anschaffungskosten ein. Dabei kommt es besonders auf die Kennwerte Traglast, Reichweite, Genauigkeit und Achsenanzahl des Roboters an. Weiterhin sind noch die Kosten für Sicherheitstechnik und Endeffektoren einzuberechnen. Je einfacher das Robotersystem in den Produktionszyklus eingebunden werden kann, desto weniger Anschaffungskosten fallen für zusätzliche Komponenten, wie Schutzzäune oder Adapter für Greifer an.

Betriebskosten sind laufende und regelmäßig wiederkehrende Kosten.

Zu diesen zählen

- Instandhaltungskosten
- Raumkosten
- Energiekosten
- Kosten für Hilfs- und Betriebsstoffen
- Personalkosten
- Werkzeugkosten
- Material-, Rüst- und Lagerkosten

Die Betriebskosten sind stark vom jeweiligen Produktionsprozess abhängig. Für ein ortsfestes Robotersystem mit unveränderlichem Produktionsschritt werden weniger Betriebskosten anfallen, als für einen flexiblen Cobot, welcher sich auf ändernde Produktionsumgebungen und Beschaffenheiten von Werkstücken anpassen muss.

Instandhaltungskosten umfassen alle Kosten für die Wartung, Inspektion und Instandsetzung. Diese sind jährlich ungefähr 10% der Beschaffungskosten des Robotersystems. Raumkosten werden definiert über die Reichweite des Roboters mit seinem Endeffektor oder über einen Schutzzaun mit einer entsprechenden Fläche für die Anlage. Energiekosten sind Kosten für Strom, Druckluft und anderen Medien dieser Art. Sie sind meist nicht konstant und abhängig von der Betriebsdauer, sowie den Kennwerten des Roboters. Kosten für Hilfs- und Betriebsstoffe fallen zum Beispiel bei Schweißrobotern an, durch den Verbrauch von Schutzgas und Schweißdraht. Für Pick & Place Anwendungen sind diese Kosten eher uninteressant. Personalkosten unterscheiden sich von der Anzahl an notwendigen Mitarbeitern und deren Ausbildungsstand, sowie von der Programmierung und Bedienung des Robotersystems. Werkzeugkosten fallen u. a. bei Anwendungen als Zerspanungsroboter und Saugroboter an, da diese mit der Zeit in Verschleiß geraten. Bei Robotern mit einem Greifer als Endeffektor fallen keine Werkzeugkosten neben den Anschaffungskosten an. [21]

### 4.1.5 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit eines Robotersystems hängt stark mit dem Teilespektrum des Produktionsumfanges zusammen. Die Programmier- und Rüstzeit der einzelnen Teile ist dabei eine entscheidende Kenngröße, ob sich eine Programmierung der Roboterzelle rechnet. Wiederholende Aufträge sind optimale Ziele, um die Effektivität in der Produktion zu steigern, da der Programmieraufwand bei Wiederholung deutlich sinkt. Ebenso sind große Stückzahlen schneller und genauer mit Hilfe eines Roboters zu bearbeiten. Gleichzeitig kann der Mitarbeiter dabei anderen Nebentätigkeiten nachgehen, wie der Bedienung weiterer Maschinen oder der Kontrolle der Maßhaltigkeit. Durch lange Laufzeiten des Roboters werden Stillstandszeiten minimiert. Zudem kann während den Pausenzeiten die Automation weiterlaufen. Der Robotereinsatz bringt bessere Qualität und höhere Wiederholgenauigkeiten in die Fertigung. [19, S. 10]

Grundsätzlich gibt es keine Losgröße, bei der die Maschinenbestückung nicht wirtschaftlich ist. Auch in der Kleinserienfertigung kann sich eine Programmierung von wiederkehrenden Teilen als vorteilhaft erweisen. Bei Teilen mit ungefähr den gleichen Abmaßen gilt dies ebenso, da keine Umstellung des Endeffektors benötigt wird. [22]

## 4.2 Praktische Untersuchungen

Die VSM GmbH wurde erstmalig mit dem internen Einsatz von Robotern im Zusammenhang mit der vorangegangenen Praktikumsarbeit konfrontiert. Diese Praktikumsarbeit befasste sich mit der Konstruktion eines Messe-Exponats, welches automatisiert ein Werbemittel dem Kunden auf Knopfdruck übergeben sollte. Dabei wurden erste Erfahrungen gesammelt, welche im nächsten Kapitel näher erläutert werden.

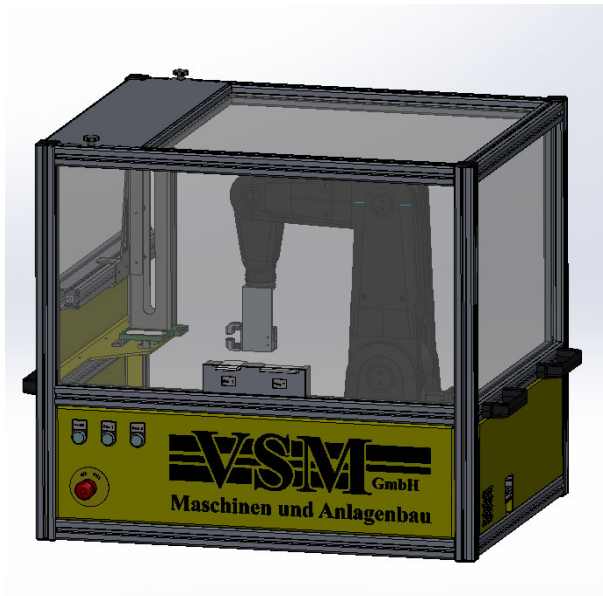
Weiterhin wurde das Teilespektrum der VSM GmbH für die Drehbearbeitung analysiert. Dabei wird auf die Stückzahl, dem Gewicht, die Abmessungen und den Durchlaufzeiten eingegangen.

Nachfolgend werden zwei Varianten zur derzeit möglichen Umsetzung für eine Be- und Entladeautomation der CNC-Drehmaschine vorgestellt. Vor- und Nachteile sind dabei jeweils gegenübergestellt.

Abschließend wird in diesem Kapitel eine Kostenanalyse vollzogen und die daraus resultierende Wirtschaftlichkeit für einen mannlosen Betrieb nach Arbeitsschluss bewertet.

### 4.2.1 Erfahrungsbericht Messe-Exponat

Im Rahmen des Praktikums in der VSM GmbH wurde ein Messe-Exponat eigenständig konstruiert und gefertigt. Dieses ist ausgestattet mit einem Roboter der Firma igus GmbH. Der Roboter transportiert ein MintCard mit einem Gewicht von 30g vom Magazin zum Ablagetisch. Die folgende Abbildung 9 zeigt das Messe-Exponat als Konstruktion im CAD-Programm SolidWorks.



**Abbildung 9: Messe-Exponat im CAD-Programm SolidWorks**

Ein wesentlicher Aspekt während der Konstruktion war die Auswahl des Roboters und dessen Greifer. Besonders musste dabei auf die Achsenanzahl und den daraus resultierenden Arbeitsbereich des Roboters geachtet werden. Durch die Bauart und dem vorgegebenen Raum des Exponats, waren die Möglichkeiten für den Transport des MintCards eingeschränkt. Mit der Simulationssoftware wurden mögliche Kollisionen im Vorfeld festgestellt und konstruktiv vermieden. Für den Greifer ist ein paralleler Backengreifer vorgesehen, um das MintCard zu transportieren. Durch den Einsatz auf Messen, ohne direkten Druckluftanschluss am Messestand, wird ein elektrischer Parallelgreifer verwendet.

Nach Beendigung der Konstruktion und Beschaffung aller Teile und Materialien, begann die praktische Umsetzung mit der Fertigung der einzelnen Bestandteile anhand der erstellten Zeichnungen und Arbeitsbegleitkarten. Die benötigten Bleche und Makrolonscheiben sind durch Laserbearbeitung gefertigt wurden.



Begonnen hat die Montage des Exponats mit dem Grundrahmen (Abbildung 10). Das Aluminium-Grundgestell ist mit Automatik-Verbindungsätzen verschraubt. Angepasst auf die Seitenbleche sind alle Profile positioniert.



**Abbildung 10: Messe-Exponat Grundrahmen in der Fertigungshalle am 13.06.2022**

Nachdem alle Bleche gepulvert waren, wurden sie gemeinsam mit dem Magazin, der Ablagevorrichtung und der Zwischenablage eingebaut. Abbildung 11 zeigt das montierte Gehäuse für das Messe-Exponat.



**Abbildung 11: Messe-Exponat Gehäuse in der Fertigungshalle am 22.06.2022**

Der vorgesehene Roboter RL-DP-5 von igus GmbH ist zusammen mit integrierter Steuerung komplett angeschlossen angeliefert wurden. Schaltschrank und Roboter werden im Gehäuse montiert (Abbildung 12).



**Abbildung 12: Messe-Exponat mit Roboter in der Fertigungshalle am 23.06.2022**

Im Nachgang sind für die interne Auswertung die angefallenen Aufwendungen betrachtet worden. Der Roboter wird weiter im Unternehmen genutzt und bietet neuen Auszubildenden Möglichkeiten für ein Praxisprojekt. Die Material- und Arbeitskosten des Messe-Exponats lassen sich wie folgt aufteilen:

- Roboter 7300€
- Greifer 600€
- Makrolonscheiben 300€
- Blechteile 700€
- weiteres Flachmaterial 200€
- Arbeitsaufwand 3200€

Insgesamt wurden 12300€ für das Praktikumsprojekt Messe-Exponat aufgebracht.

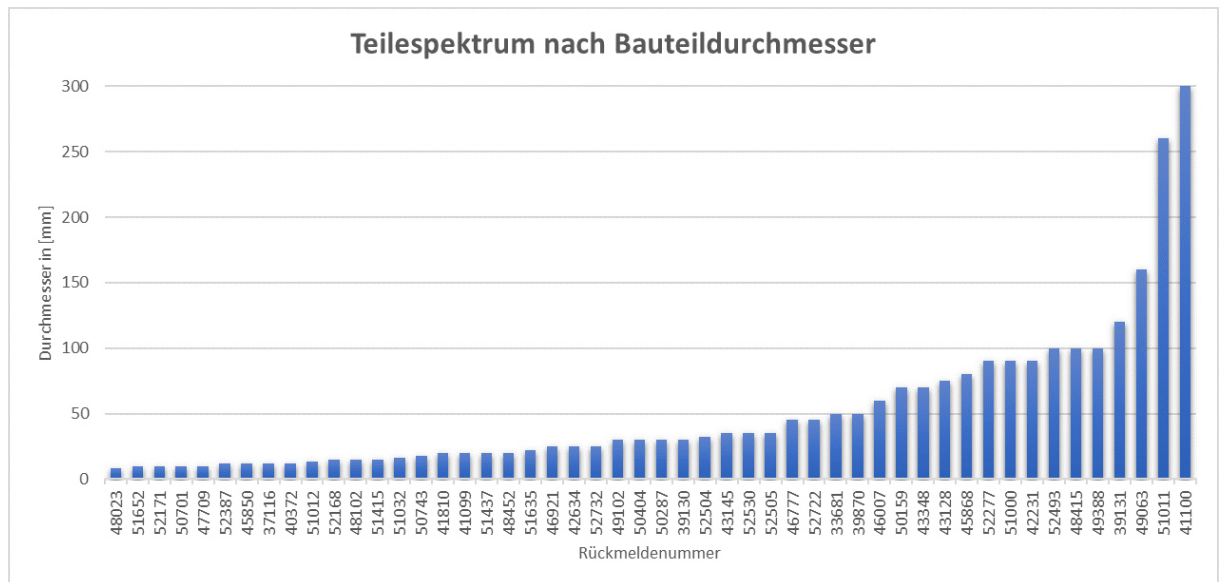
## 4.2.2 Analyse Teilespektrum

Für die Drehbearbeitung stehen in der VSM GmbH eine Vielzahl an verschiedenen Aufträgen und Teilen zur Verfügung. Durch den Fokus der Einzelteillfertigung im Unternehmen sind große Stückzahlen selten und die CNC-Drehmaschine muss mehrmals am Tag für einen neuen Auftrag gerüstet werden.

Für eine allgemeine Übersicht über das Teilespektrum der VSM GmbH für die Drehbearbeitung, wurden aus dem internen ERP System „pro Alpha“ eine Auswahl an Aufträgen getroffen (Rückmeldenummer), welche schon mehrfach über die Drehbearbeitung gefertigt wurden. Es wurden insgesamt 50 verschiedene Aufträge ausgewertet und verglichen. Die Angaben zum Halbzeug, Gewicht und der Bearbeitungszeit beziehen sich auf die Stückzahl eins. Für die Analyse wurden Aufträge im Zeitraum von 2020 bis 2022 ausgewertet (Anlagen, Teil 2).

Das Teilespektrum von 2020 - 2022 dient zur ersten Grundunterteilung in verwendetem Halbzeug, Material, Ausgangsgewicht und Stückzahl. An diesen Kriterien kann eine Entscheidung über die Eignung einer Roboterautomatisierung getroffen werden. Das Ausgangsmaterial bestimmt dabei die Greiferform. Es gilt zu untersuchen, ob eher große oder kleine Durchmesser bearbeitet werden. Das Ausgangsgewicht entscheidet über die notwendige Traglast des Robotergreifers und die Stückzahl bestimmt, ob sich eine autonome Fertigung rentiert.

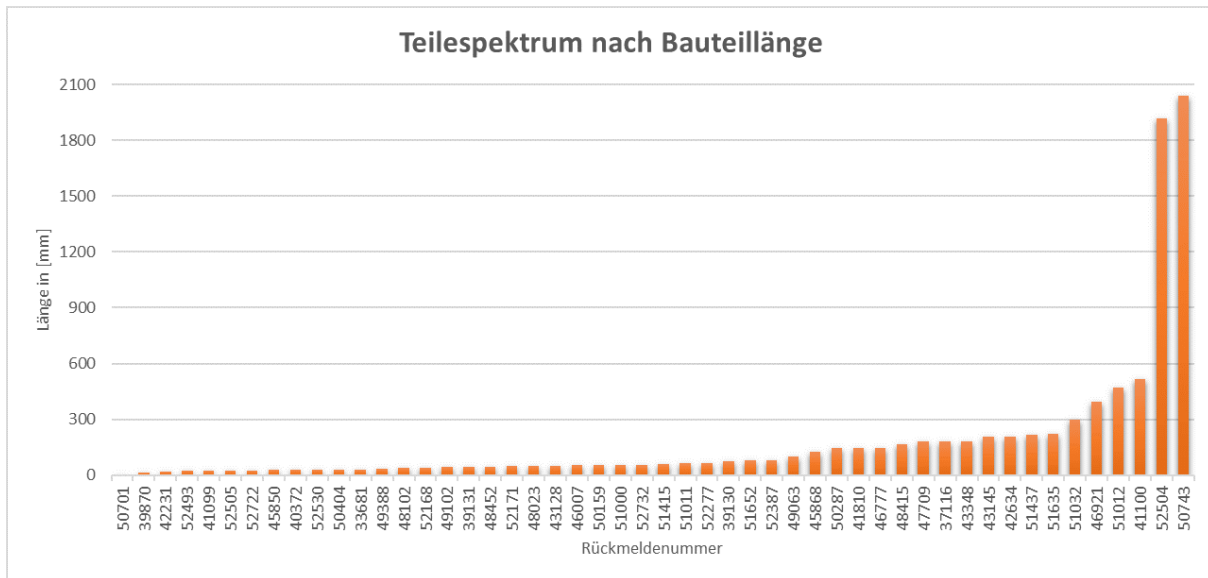
Betrachtet man die Aufträge nach dem Bauteildurchmesser, erhält man folgende Übersicht nach Abbildung 13.



**Abbildung 13: Teilespektrum nach Bauteildurchmesser**

Rund zwei Drittel der Teile haben einen Durchmesser von  $\leq 50$ mm. Für diesen Größenbereich sind am häufigsten Aufträge vorhanden und daher bevorzugt, um mehr Aufträge für den Robotereinsatz zu gewinnen. Durchmesser von 50-100mm können über einen alternativen Greifer ebenfalls realisiert werden, jedoch ist die Auftragslage dahingehen geringer. Für Teile mit Durchmesser über 100mm wird die Automation mittels Roboter nicht betrachtet. Da sich nur ca. 10% der Aufträge in diesem Größenbereich aufhalten, ist eine Rentabilität unwahrscheinlich.

Neben dem Durchmesser ist die Bauteillänge ebenso entscheidend. Zu lange Teile können Schwierigkeiten beim Be- und Entladen der Maschine verursachen. Für Längen bis rund 300mm ist dies technologisch bei der bestehenden Anlage (Bauraumgeometrie) möglich. Abbildung 14 veranschaulicht die Bauteillänge aus dem allgemeinen Teilespektrum.



**Abbildung 14: Teilespektrum nach Bauteillänge**

Alle betrachteten Bauteillängen beziehen sich hierbei auf das Einzelteil. 90% aller gefertigten Drehteile besitzen eine Länge von  $\leq 300\text{mm}$  und sind für einen Be- und Entladeprozess eines Roboters geeignet. Für große Stückzahlen kann in der Fertigung auch von Stange gedreht werden, wodurch das Gewicht und Länge des Halbzeugs erhöht wird. Dabei muss auf die maximale Traglast des Roboters, welche nicht überschritten werden darf, geachtet werden.

Betrachtet man weiterhin die Stückzahlen aus dem allgemeinen Teilespektrum, so ist zu erkennen, dass sich die VSM GmbH auf Einzelteilerfertigung und Kleinserien spezialisiert. Einzelteilerfertigung betrifft Stückzahlen kleiner 5 Stück. Kleinserien sind im Bereich von 5-20 Stück. Alle Aufträge über Stückzahl 20 werden hier als Großserien bezeichnet.

Abbildung 15 abgeleitet aus dem allgemeinen Teilespektrum der VSM GmbH von 2020 - 2022 veranschaulicht dies noch einmal.



**Abbildung 15: Teilespektrum nach Stückzahl pro Produktionsauftrag**

Fast zwei Drittel der Aufträge wird mit einer Stückzahl < 5 gefertigt und nur 10% mit Stückzahlen  $\geq 20$ . 90% aller Aufträge befindet sich im Bereich der Kleinserien und Einzelteillfertigung. Für die Roboterautomatisierung sind Großserien vorteilhaft, da sie lange Laufzeiten und wenig Programmieraufwand bieten. Im allgemeinen Teilespektrum der VSM GmbH sind dafür nur knapp 10% der Aufträge relevant.

Für die Greiferauswahl ist das Bauteilgewicht mit entscheidend. Die Traglast des Roboters sollte das Gewicht des Bauteils und das Gewicht des Greifers halten können. Eine Einteilung nach der Traglast von Robotern kann wie folgt aussehen:

- Traglast <1kg
- Traglast 1kg bis 3kg
- Traglast  $\geq 3$ kg

Nimmt man diese Einteilung für das allgemeine Teilespektrum vor, erhält man folgende Übersicht (Abbildung 16).



**Abbildung 16: Teilespektrum nach Gewicht**

Für das Gewicht des Halbzeugs pro Einzelteil ist zu erkennen, dass zwei Drittel der Bauteile unter 1kg wiegen und nur 14% eine Masse  $\geq 3\text{kg}$  aufweisen. Großserien werden von der Stange gedreht, wodurch das Gewicht des Halbzeugs mit zunehmender Stückzahl wächst. Generell sind Roboter mit kleiner Traglast bis 3kg für die VSM GmbH anhand ihres Teilespektrums ausreichend.

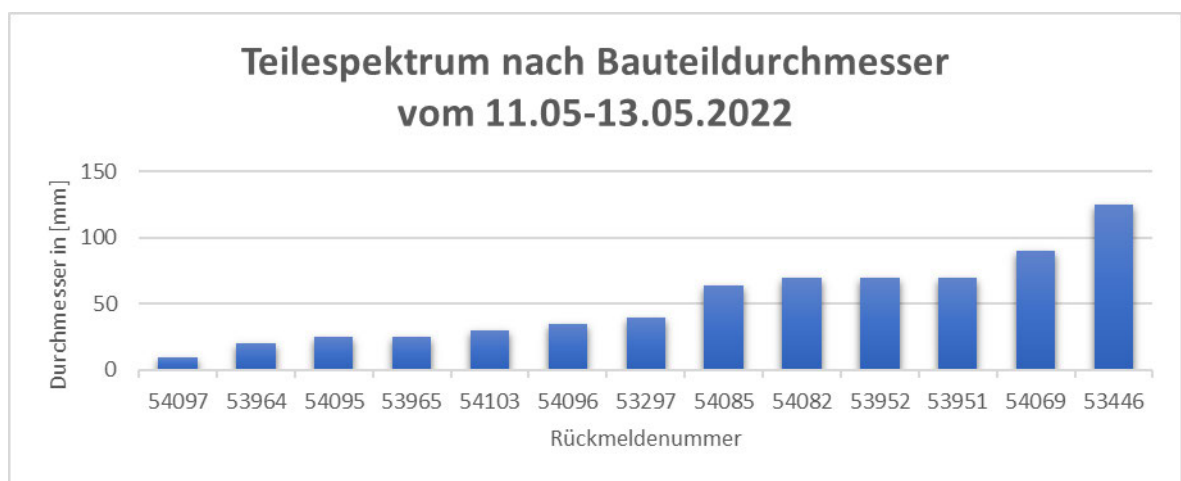
Weiterhin wurden im Zeitraum vom 11.05 bis 13.05.2022 und 16.05 bis 18.05.2022 alle Aufträge für die CNC-Drehbearbeitung in jeweils einer separaten Analyse ausgewertet, um den aktuellen Auftragsstand mit dem archivierten Stand aus dem ERP System zu vergleichen.

Vom 11.05 bis 13.05.2022 wurden 13 Aufträge im CNC-Bearbeitungszentrum gefertigt Diese sind in Tabelle 4 aufgelistet.

**Tabelle 3: VSM GmbH Teilespektrum vom 11.05 – 13.05.2022**

Rückmeldenummer	Halbzeug [mm]	Material	Ausgangsgewicht [kg]	Stückzahl
54082	Ø70 x 26	ST37-2	0,8	2
54095	Ø25 x 27	C45k	0,1	2
54096	Ø35 x 12	16MnCr5	0,1	4
53965	Ø25 x 27	C45k	0,1	2
53952	Ø70 x 26	ST37-2	0,8	1
53951	Ø70 x 26	ST37-2	0,8	1
53297	Ø40 x 43	S355J2	0,4	2
53446	Ø125 x 17	9SMnPb28k	1,7	40
54069	Ø90 x 95	16MnCr5	4,8	2
53964	Ø20 x 303	CF53 HRC64	0,8	4
54097	Ø10x1,5 x 15	ST 35 BK	0,01	6
54103	Ø30 x 190	S355J2+C	1	30
54085	Ø63,5x12,5 x 63	S355J2H	1	2

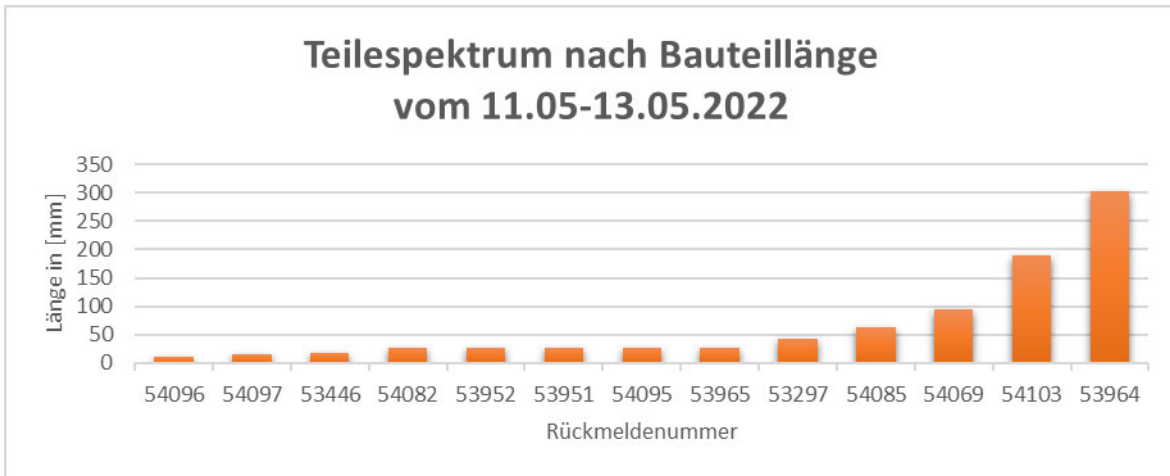
Daraus lassen sich die Grafiken zum Bauteildurchmesser und der Bauteillänge ableiten (Abbildung 17+18), sowie der Stückzahl und dem Gewicht (Abbildung 19+20).



**Abbildung 17: Teilespektrum nach Bauteildurchmesser vom 11.05 - 13.05.2022**

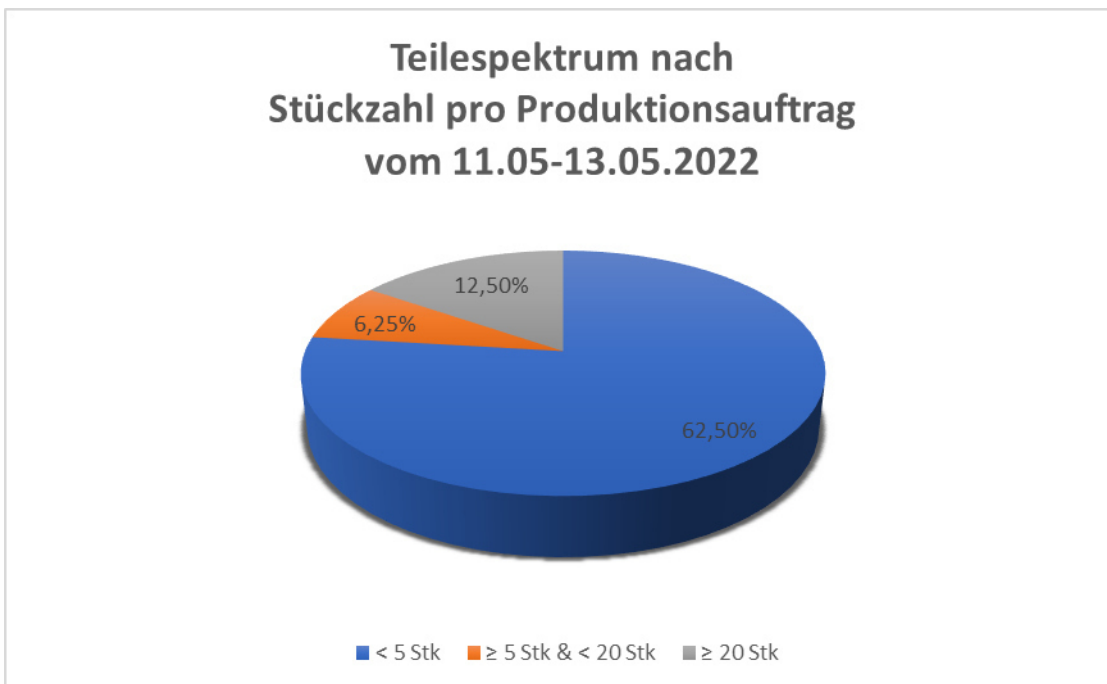


Aus der Abbildung 17 lässt sich erkennen, dass rund die Hälfte der gefertigten Teile einen Durchmesser  $\leq 50\text{mm}$  aufweisen. Teile größer als  $\text{Ø}100\text{mm}$  wurde in diesem Zeitraum nur einmal gefertigt.



**Abbildung 18: Teilespektrum nach Bauteillänge vom 11.05 - 13.05.2022**

Für die Bauteillänge ist zu sehen, dass zwei Drittel der Teile  $\leq 50\text{mm}$  lang sind und kein Teil länger als  $300\text{mm}$  ist. (Abbildung 18).



**Abbildung 19: Teilespektrum nach Stückzahl vom 11.05 – 13.05.2022**

Die Stückzahlen der Aufträge vom Zeitraum 11.05 - 13.05.22 spiegeln die allgemeine Analyse aus Tabelle 3 wider (Abbildung 19). Knapp zwei Drittel der Teile wurden mit Losgröße  $\leq 5\text{Stk.}$  gefertigt und  $87,5\%$  der Aufträge sind der Kategorien Kleinserien und

Einzelteillfertigung zuzuordnen. Nur zwei Teile aus Tabelle 4 wurden mit Stückzahl  $\geq 20$ Stk. in Auftrag gegeben.



**Abbildung 20: Teilespektrum nach Gewicht vom 11.05 – 13.05.2022**

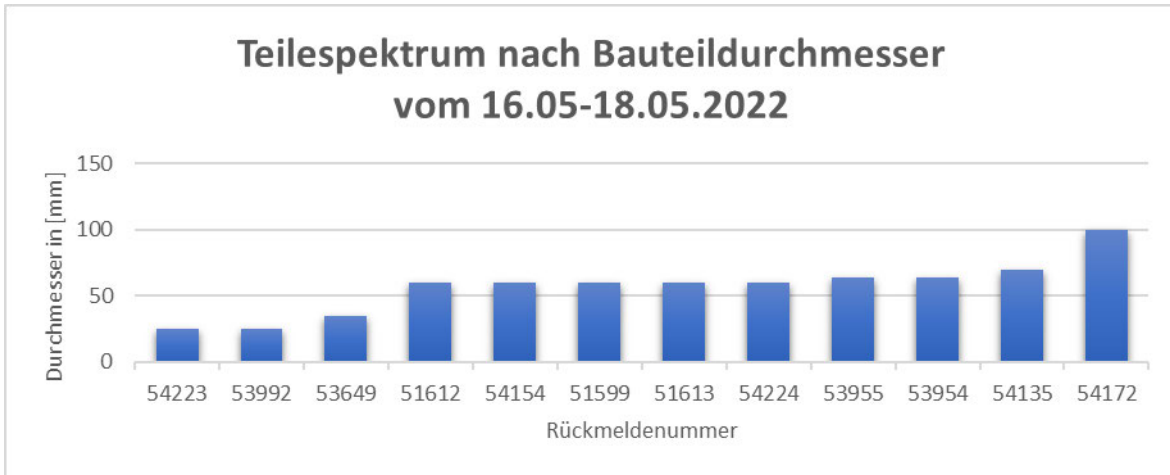
Für das Bauteilgewicht herrscht eine ähnliche Tendenz (Abbildung 20). Kleine Traglasten  $\leq 1\text{kg}$  nehmen zwei Drittel der gefertigten Teile ein. Schwerere Teile mit Gewicht von  $\geq 3\text{kg}$  wurden nach Tabelle 4 in diesem Zeitraum nur einmal gefertigt.

Vom 16.05 bis 18.05.2022 wurden weiterhin 12 Aufträge im CNC-Drehbearbeitungszentrum gefertigt (Tabelle 5).

**Tabelle 4: VSM GmbH Teilespektrum vom 16.05 – 18.05.2022**

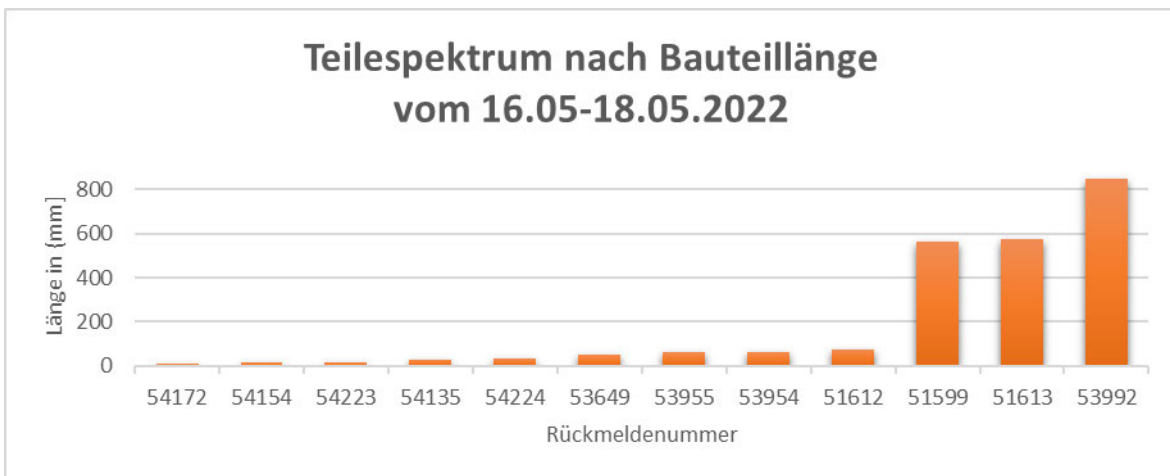
Rückmeldenummer	Halbzeug [mm]	Material	Ausgangsgewicht [kg]	Stückzahl
53649	$\emptyset 35 \times 50$	AlMgSi1	0,3	14
53955	$\emptyset 63,5 \times 12,5 \times 63$	S355J2H	1	2
53954	$\emptyset 63,5 \times 12,5 \times 63$	S355J2H	1	2
51612	$\emptyset 60 \times 74$	S355J2	1,7	25
54135	$\emptyset 70 \times 30$	X5CrNiMo17-12-2	0,95	2
54154	$\emptyset 60 \times 15$	X5CrNi18-10	0,35	2
51599	$\emptyset 60 \times 2,5 \times 563$	E235+C	2	25
51613	$\emptyset 60 \times 2,5 \times 572$	E235+C	2	25
54172	$\emptyset 100 \times 10$	S355J2G3	0,6	3
54223	$\emptyset 25 \times 16$	16MnCr5+C	0,05	2
54224	$\emptyset 60 \times 36$	16MnCr5+C	0,8	2
53992	$\emptyset 25 \times 847$	C45 + SL	3,3	60

Daraus sind erneut die Grafiken zum Bauteildurchmesser und der Bauteillänge (Abbildung 21+22), sowie der Stückzahl und dem Gewicht abgeleitet (Abbildung 23+24).



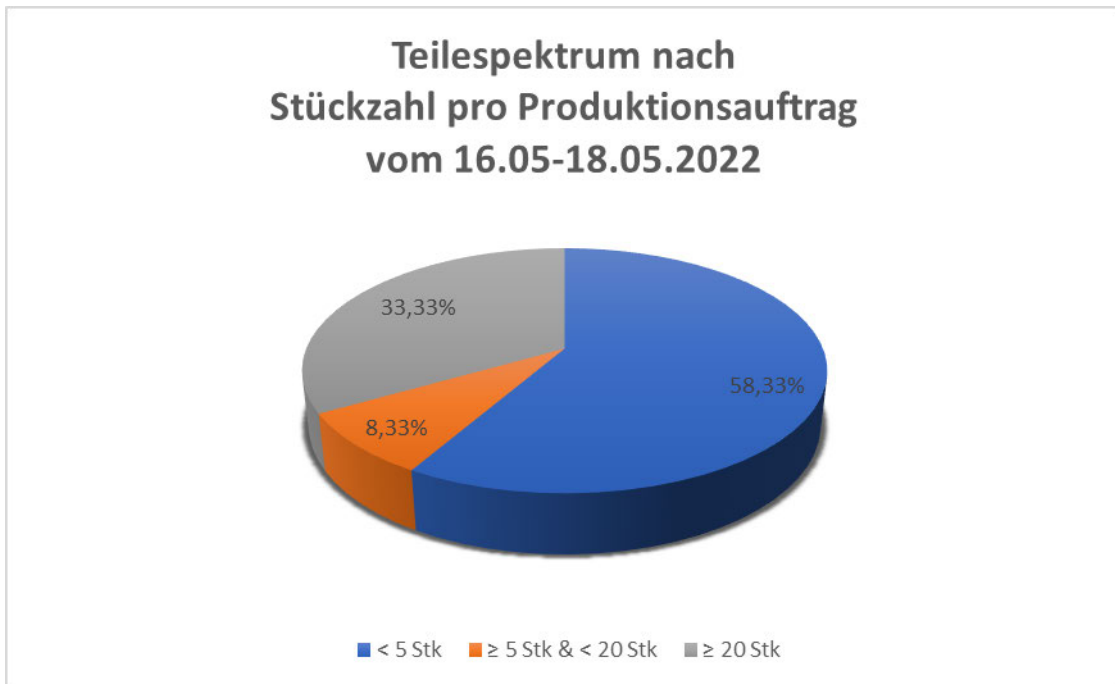
**Abbildung 21: Teilespektrum nach Bauteildurchmesser vom 16.05 - 18.05.2022**

In dieser Zeitspanne wurden mehrere ähnliche Aufträge mit gleichem Durchmesser gefertigt. Die Mehrheit der Teile sind im Bereich zwischen  $\varnothing 50\text{mm}$  und  $\varnothing 100\text{mm}$ . Nur ein Viertel der Aufträge waren  $\leq \varnothing 50\text{mm}$  (Abbildung 21).



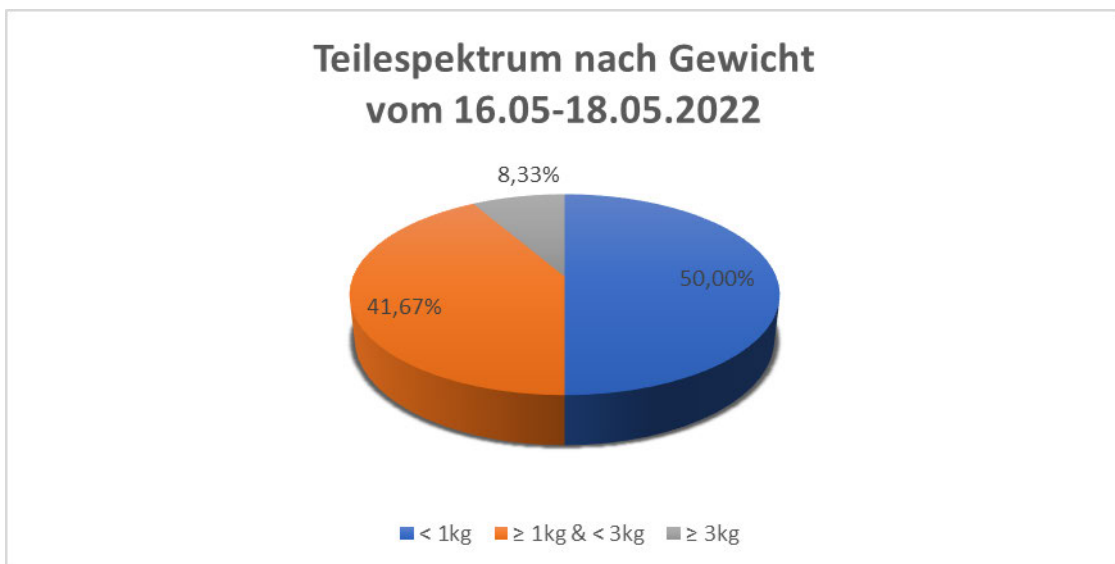
**Abbildung 22: Teilespektrum nach Bauteillänge vom 16.05 - 18.05.2022**

In Abbildung 22 ist die Bauteillänge der gefertigten Teile nach Tabelle 5 dargestellt. Es sind drei gefertigte Teile zu erkennen, welche eine Bauteillänge von  $\geq 300\text{mm}$  aufweisen. Alle anderen Teile besitzen eine Länge unter  $100\text{mm}$ .



**Abbildung 23: Teilespektrum nach Stückzahl vom 16.05 – 18.05.2022**

Aus dem Diagramm für die Stückzahl in Abbildung 23 ist erneut eine erhöhtes Auftragspektrum für Einzelteilerfertigung und Kleinserien für Teile mit Losgrößen  $\leq 20$ Stk. zu erkennen. Ein Drittel der Aufträge aus Tabelle 5 waren für Losgrößen  $\geq 20$ Stk.



**Abbildung 24: Teilespektrum nach Gewicht vom 16.05 – 18.05.2022**

Die Hälfte der gefertigten Teile vom 16.05 - 18.05.22 weisen ein Gewicht von  $\leq 1$ kg. Nur eine Position aus Tabelle 5 hat ein Gewicht von  $\geq 3$ kg. Der Großteil mit 91,67% befindet sich im Bereich der kleinen bis mittleren Bauteile für eine Roboterautomatisierung (Abbildung 24).

Vergleicht man die aktuelle Untersuchung mit der allgemeinen Auswertung des internen ERP-Systems, so stellt man eine ungefähre Übereinstimmung in allen untersuchten Kriterien fest:

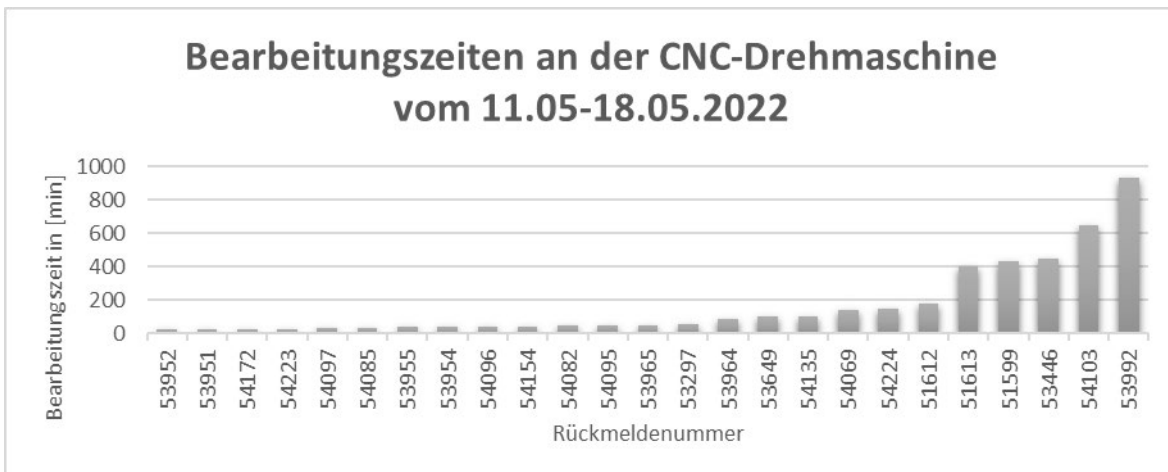
- Der Bauteildurchmesser ist überwiegend im Bereich von  $\leq 100\text{mm}$ , nur vereinzelt werden größere Durchmesser verwendet. Für einen Greifer mit Hub pro Backe von  $50\text{mm}$ , kann der Großteil des Teilespektrums der VSM GmbH abgedeckt werden.
- Die Bauteillänge des Einzelteils liegt im Schnitt bei rund  $150\text{mm}$ . Die Mehrheit der gefertigten Teile weist eine Länge von  $\leq 300\text{mm}$  auf. Ausnahmen wie lange Säulen oder Rohre können ohne weiteren Aufwand nicht automatisiert werden.
- Fokussiert auf Einzelteillfertigung und Kleinserien werden in der VSM GmbH zwei Drittel der Aufträge mit Stückzahl  $\leq 5\text{Stk.}$  gefertigt. Ca. 10% aller Untersuchten Aufträge sind als Großserien mit Stückzahl  $\geq 20\text{Stk.}$  anzusehen und für eine Roboterautomatisierung in Betracht zu ziehen.
- Das Gewicht der verwendeten Halbzeuge liegt in der Mehrheit bei  $\leq 3\text{kg}$ , welche für kleine bis mittlere Roboter mit Greifer geläufig sind. Rund 10% der analysierten Aufträge hatten Halbzeuge mit einer Masse über  $3\text{kg}$ . Die Auswahl des Robotergreifers ist für Traglasten bis  $3\text{kg}$  zu treffen.

Für die Untersuchung der Bearbeitungszeiten dient die Analyse der untersuchten Aufträge für die CNC-Drehbearbeitung vom 11.05 – 18.05.2022 als Grundlage. Tabelle 6 beinhaltet die identischen Aufträge zusammen mit ihren zugehörigen Bearbeitungszeiten aus der Fertigung.

**Tabelle 5: VSM GmbH Aufträge für die CNC-Drehbearbeitung nach Bearbeitungszeit im Zeitraum vom 11.05 – 18.05.2022**

Rückmeldenummer	Stückzahl	Bearbeitungszeit gesamt [min]	Bearbeitungszeit/Teil [min]
54082	2	45	22,50
54095	2	50	25,00
54096	4	42	10,50
53965	2	50	25,00
53952	1	25	25,00
53951	1	25	25,00
53297	2	55	27,50
53446	40	445	11,13
54069	2	140	70,00
53964	4	90	22,50
54097	6	29	4,83
54103	30	645	21,50
54085	2	35	17,50
53649	14	100	7,14
53955	2	41	20,50
53954	2	41	20,50
51612	25	180	7,20
54135	2	100	50,00
54154	2	44	22,00
51599	25	430	17,20
51613	25	405	16,20
54172	3	25	8,33
54223	2	25	12,50
54224	2	150	75,00
53992	60	930	15,50

Die Bearbeitungszeit des einzelnen Auftrags ist abhängig von der Programmierdauer und des fertigen Programmdurchlaufs pro Teil, aber auch den Abmaßen und Gewicht des Bauteils. Multipliziert mit der Stückzahl ergibt sich die Gesamtbearbeitungszeit für den jeweiligen Auftrag. Abbildung 25 zeigt die Bearbeitungszeit von allen Aufträgen an der CNC-Drehmaschine vom 11.05-18.05.2022.



**Abbildung 25: Bearbeitungszeiten an der CNC-Drehmaschine vom 11.05-18.05.2022**

Es ist eine starke Tendenz zu Bearbeitungszeiten von  $\leq 50$ min pro Auftrag zu erkennen. Im Durchschnitt wurden ca. 23min pro Teil benötigt. Dies liegt an den geringen Stückzahlen in der Kleinteilefertigung. Nur 6 aus 25 Aufträgen hatten eine Bearbeitungszeit von 180min oder länger. Dies betrifft primär die Aufträge mit Fertigungsmenge  $\geq 20$ Stk. Vereinzelt gibt es auch Aufträge mit geringen Stückzahlen, aber einer hohen Bearbeitungszeit pro Teil. Dies ist u.a. für den Auftrag 54334 mit einer Bearbeitungszeit pro Teil von 75min der Fall.

### 4.2.3 Automatisierungslösung Variantenvergleich

Nachfolgend werden zwei Möglichkeiten einer Roboterautomatisierung als Be- und Entladestation an einer CNC-Maschine vorgestellt. Dabei wird auf Vorteile und Nachteile eingegangen und die Nutzbarkeit für die VSM GmbH bewertet.

#### 4.2.3.1 SINUMERIK Run MyRobot/ Easy Connect

SINUMERIK Run MyRobot /Easy Connect ist eine Software, entwickelt von Siemens, welche eine einfache Anbindung des Roboters an die CNC-Steuerung bietet. Sie basiert auf definiertem VDW/VDMA Standard für die Anbindung von Robotern an Werkzeugmaschinen. Dadurch ist ein Eingreifen in die Programmierung der Maschinensteuerung nicht mehr nötig. Die Kommunikation zwischen Roboter und Werkzeugmaschine findet über die PLC-Schnittstelle statt. Dabei werden beide Steuerungen über PLC-E/A-Signale miteinander synchronisiert. Realisiert werden kann dies als Handling-Anwendung für die SINUMERIK 828 und SINUMERIK 840D sl (Abbildung 26). [23]

**SINUMERIK Run MyRobot/EasyConnect**



Anwendungsgebiet:

- Handling

**Einfache PLC-E/A-Schnittstelle**

Realisierbar mit:

SINUMERIK 828	<input checked="" type="checkbox"/>
SINUMERIK 840D sl	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 26: SINUMERIK Run MyRobot /Easy Connect [23, S. 2]



Durch die einheitliche Programmierung der Werkzeugmaschine und des Roboters über das SINUMERK NC-Programm, kann ein allgemeiner Programmablauf für das Be- und Entladen der CNC-Drehmaschine für die VSM GmbH geschrieben werden. Abbildung 27 zeigt einen möglichen Aufbau als Beispiel:

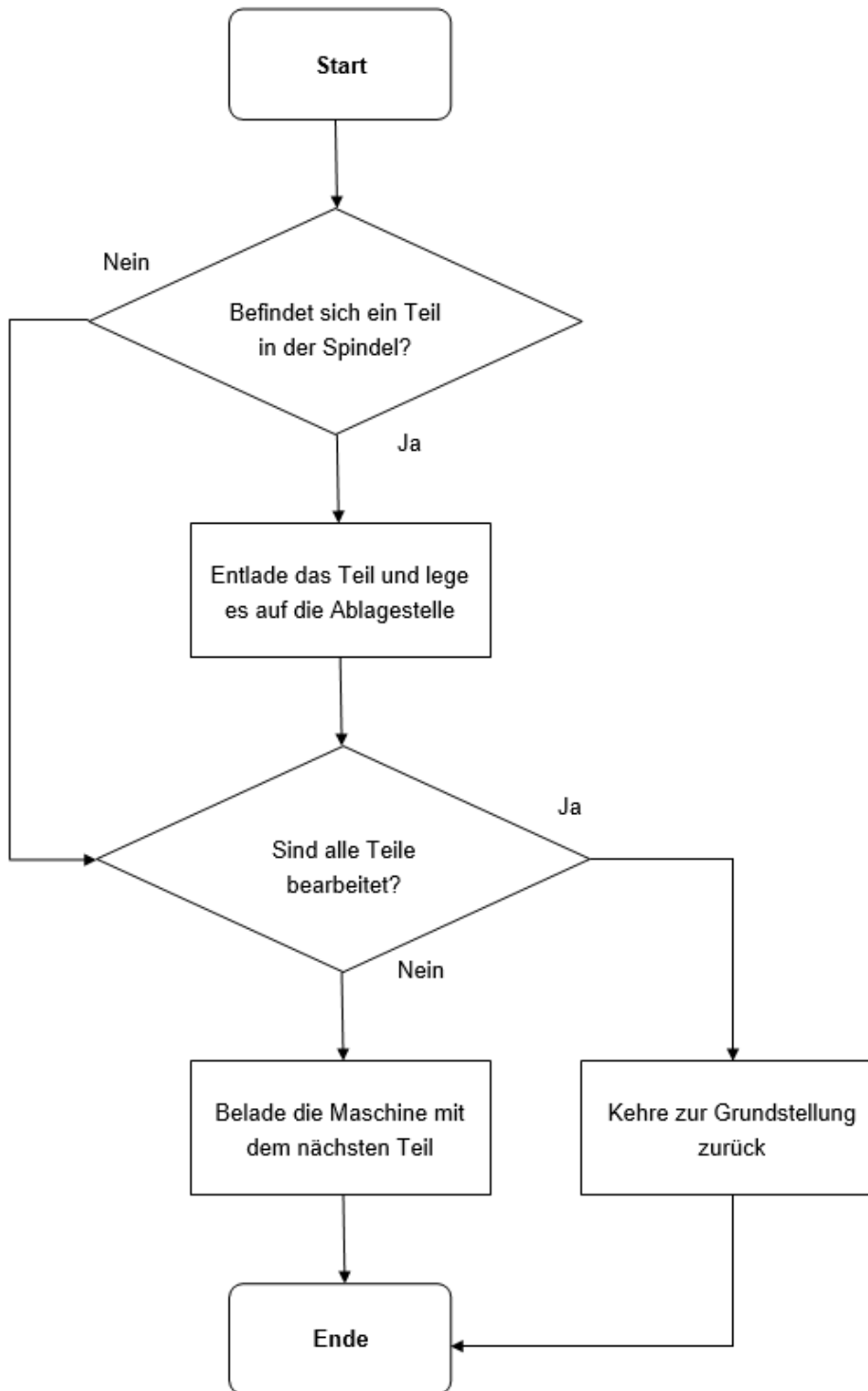


Abbildung 27: Programmablauf zum Bestücken von Werkzeugmaschinen für einen Greifer

Die SINUMERIK Run MyRobot/ Easy Connect bietet der VSM GmbH folgende Vorteile:

- einfache Roboteranbindung an die CNC-Maschine
- Bedienung und Programmierung des Roboters über die Roboter-Steuerung
- Synchronisation der Steuerungen über PLC-E/A-Signale

Nachteile dieser Automatisierungsvariante sind:

- keine Schutzeinrichtungen inklusive
- fachgerechter Aufbau des Roboters erfolgt eigenständig
- keine Speichervorrichtungen für Werkstücke vorhanden

Siemens bietet neben der Easy Connect-Lösung noch weitere Integrationstiefen für die Roboterautomatisierung von Werkzeugmaschinen an. Davon lauten vier verschiedene Lösungen wie folgt:

Run MyRobot/ Easy Connect - schnelle und einfache Anbindung als Handling Roboter

Run MyRobot/ Handling - einheitliche Bedienung von Roboter und Werkzeugmaschine

Run MyRobot/ Machining - Integration des Roboters in den Fertigungsprozess

Run MyRobot/ Direct Control - Vollständige Integration in den Fertigungsprozess

[24, S. 7]

Entscheidend für die VSM GmbH ist die Anbindung als Handling Roboter. Über die vorhandene Steuerung der Sinumerik 828D ist diese Integration möglich. Run MyRobot /Handling wird für die vorhandene Steuerung nicht unterstützt. Daher wurde die erste Integrationsstufe der Siemens-Lösung als mögliche Variante zur Roboterautomatisierung der CNC-Drehmaschine für die VSM GmbH ausgewählt.

### 4.2.3.2 HandlingTech ecoZ

Die ecoZ ist eine von der Firma HandlingTech Automations-Systeme GmbH entwickelte Roboterzelle zum automatisierten Be- und Entladen von Werkzeugmaschinen (Abbildung 28). Sie beinhaltet folgende Leistungsinhalte:

- 6-Achs-Roboter inklusive Greifer für bis zu 6kg Werkstückgewicht
- Einhausung als stabilen Stahlrahmen mit Schutzzaun möglich
- Werkstückspeicher-Schubladen
- Optionale Bearbeitungsmöglichkeiten
- Mobiles Touch-Panel mit Hauptschalter und Not-Aus Schalter
- Sicherheits-Laserscanner
- Not-Aus-Zone und optionale Speed-Zone
- Datenschnittstellen: PROFINET, PROFIBUS, Ethernet, IO-Link

Die Roboterzelle wird rechtwinklig an die Werkzeugmaschine angestellt, wodurch dem Roboter ein optimaler Arbeitsbereich ermöglicht wird. Durch den internen Werkstückspeicher und der kompakten Bauform kann die ecoZ variabel an verschiedenen Maschinen verwendet werden. [20, S. 2]



Abbildung 28: HandlingTech ecoZ [25]

Es werden verschiedene Robotervarianten z. B. von FANUC und KUKA für den Einbau zur Auswahl gestellt. Je nach Gewichtsklasse sind sie an die individuellen Kundenwünsche angepasst. Über Verstell- und Wechselsysteme lassen sich Greifer für die jeweilige Anwendung schnell und einfach austauschen. Das mobile Touch-Panel ermöglicht eine einfache Bedienung des Roboters. Durch den eingebauten Laserscanner kann auf eine weitere Absicherung durch einen Schutzzaun verzichtet werden. Eine Integration für weitere Prozesse wie Reinigen, Prüfen oder Ausrichten, ist in der ecoZ ebenso möglich. [26]

Die ecoZ von HandlingTech bietet der VSM GmbH folgende Vorteile:

- Schutzeinrichtung mit Laserüberwachung und alternativ Schutzzaun
- Variabler Einsatz an verschiedenen Maschinen
- Speichervorrichtung als Schublade zur Entnahme und Ablage von Werkstücken
- Integrationsmöglichkeit für optionale Bearbeitungsprozesse
- Wirtschaftlicher Preis für geringen Platzbedarf

Nachteile für diese Variante der Roboterautomatisierung sind:

- Getrennte Steuerung der Werkzeugmaschine und des Roboters
- Aufwändiger Umbau des Arbeitsplatzes an der Werkzeugmaschine
- Eingeschränktes Arbeiten für manuellen CNC-Betrieb ohne Roboter

HandlingTech bietet neben der ecoZ noch weitere Automatisierungslösungen für Roboterzellen an. Zu nennen sind hier die SRZ und palletZ, welche für deutlich größere Traglasten bis 700kg ausgelegt sind. Über die Analyse des Teilespektrums im Kapitel 4.1.1.2 wurde sich hier für die Variante der ecoZ entschieden, welche bis zu einer Traglast von 35kg ausgelegt werden kann. [26]

#### 4.2.4 Kostenbetrachtung

Die Kosten für eine Roboterautomation in der VSM GmbH lassen sich auf eine 5 Jahre Amortisationszeit eines Roboters grob überschlagen. Der aktuelle Stundensatz der CNC-Drehbearbeitung liegt bei 50€/h. Für die Anschaffung und Inbetriebnahme wird in den nachfolgenden Beispielen mit einem Kostenaufwand von 200.000€ gerechnet. Diese teilen sich auf folgender Weise auf:

**Tabelle 6: Kostenüberschlag für die Anschaffung eines Roboters zur Maschinenbestückung**

<b>Bezeichnung</b>	<b>Kosten in EUR</b>
• Roboter	40.000€
• Greifer	10.000€
• Sicherheitstechnik	25.000€
• Schnittstellen	25.000€
• Peripherie	20.000€
• CNC-Drehmaschine Automatisierung	25.000€
• Robotersteuerung und -programmierung	20.000€
• Ablagespeicher	10.000€
• Inbetriebnahme	25.000€

Um die Anschaffungskosten gewinnbringend zu amortisieren, wird nachfolgend die Tageslaufzeit der Roboterautomation für einen mannslosen Betrieb errechnet:

Aus dem vorgegebenen Investitionsvolumen und der Amortisationszeit des Roboters, wird der Automationsumsatz pro Jahr nach Gleichung (1) berechnet.

$$\text{Automationsumsatz pro Jahr} = \frac{\text{Investitionsvolumen}}{\text{Amortisationszeit}} \quad (1)$$

Über die verfügbaren Produktionstage pro Jahr, lässt sich der Automationsumsatz pro Tag nach Gleichung (2) errechnen.

$$\text{Automationsumsatz pro Tag} = \frac{\text{Automationsumsatz pro Jahr}}{\text{Produktionstage pro Jahr}} \quad (2)$$

Die Berechnung der benötigten Tageslaufzeit der Automation für eine Rentabilität der Anschaffungskosten, kann mithilfe des Stundenlohnes nach Gleichung (3) erfolgen.

$$\text{Tageslaufzeit der Automation} = \frac{\text{Automationsumsatz pro Tag}}{\text{Stundenlohn}} \quad (3)$$

Als Beispiel werden diese Rechnungen für eine realistische Variante mit 5 Jahren Amortisationszeit und 50€ Stundenlohn, eine pessimistische Variante mit einer Amortisationszeit von 10 Jahren, sowie eine optimistische Variante für einen Stundenlohn der CNC-Drehbearbeitung von 75€ pro Stunde durchgeführt.

Realistische Variante:

Gegeben ist eine Amortisationszeit von 5 Jahren und ein Stundenlohn von 50€ pro Stunde. Mithilfe der Gleichungen (1), (2) und (3) wird die Tageslaufzeit der Automation berechnet.

$$\frac{200.000\text{€}}{5 \text{ Jahre}} = 40.000 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}}$$

$$\frac{40.000\text{€}}{220 \text{ Tage}} = 181,82 \frac{\text{€}}{\text{Tag}}$$

$$\frac{181,82 \frac{\text{€}}{\text{Tag}}}{50 \frac{\text{€}}{\text{h}}} = 3,64 \frac{\text{h}}{\text{Tag}}$$

Um die Anschaffung der Roboterautomation innerhalb der 5 Jahre Amortisationszeit kostenmäßig zu decken, muss für 3,64h pro Tag ein mannloser Betrieb an der CNC-Drehmaschine gewährleistet werden.

Pessimistische Variante:

Gegeben ist eine Amortisationszeit von 10 Jahren bei gleichbleibendem Stundenlohn von 50€ pro Stunde. Aus den Gleichungen (1), (2) und (3) wird die Tageslaufzeit der Automation ermittelt.

$$\frac{200.000\text{€}}{10 \text{ Jahre}} = 20.000 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}}$$

$$\frac{20.000\text{€}}{220 \text{ Tage}} = 90,91 \frac{\text{€}}{\text{Tag}}$$

$$\frac{90,91 \frac{\text{€}}{\text{Tag}}}{50 \frac{\text{€}}{\text{h}}} = 1,82 \frac{\text{h}}{\text{Tag}}$$

Mit einem Einsatz des Roboters von 1,82h pro Tag werden die Anschaffungskosten über 10 Jahre Amortisationszeit abgedeckt.

Optimistische Variante:

Gegeben ist eine gleichbleibende Amortisationszeit von 5 Jahren, bei einem erhöhten Stundenlohn von 75€ pro Stunde. Nach den Gleichungen (1), (2) und (3) wird die Tageslaufzeit der Automation berechnet.

$$\frac{200.000\text{€}}{5 \text{ Jahre}} = 40.000 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}}$$

$$\frac{40.000\text{€}}{220 \text{ Tage}} = 181,82 \frac{\text{€}}{\text{Tag}}$$

$$\frac{181,82 \frac{\text{€}}{\text{Tag}}}{75 \frac{\text{€}}{\text{h}}} = 2,42 \frac{\text{h}}{\text{Tag}}$$

Mit erhöhtem Stundenlohn für die CNC-Drehbearbeitung von 75€ pro Stunde muss der Roboter für 2,42h pro Tag als mannloser Betrieb automatisiert laufen, um die Anschaffungskosten zu decken.



### 4.2.5 Auswertung der Wirtschaftlichkeit

Betrachtet man die vorherrschenden Bedingungen für einen Robotereinsatz in der VSM GmbH, lässt sich eine Entscheidung über die Wirtschaftlichkeit der Anschaffung treffen. Über die Kostenbetrachtung im Abschnitt 4.2.4 wurde als realistischer Ansatz für den Roboter ein mannloser Betrieb von 3,64h pro Tag ausgerechnet. Diese Zeit muss der Roboter automatisiert nach Arbeitsschluss eigenständig weiterarbeiten.

Gleichzeitig muss eine ausreichende Auftragslage zur Bearbeitung für den Roboter zur Verfügung stehen. Am besten eignen sich handliche Werkstücke mit langen Durchlaufzeiten und großen Stückzahlen. Aus der Analyse des Teilespektrums in Abschnitt 4.2.2 lässt sich erkennen, dass rund 25% der aktuellen Aufträge eine Bearbeitungszeit von  $\geq 180\text{min}$  und Stückzahl  $\geq 20\text{Stk}$  aufweisen.

Aus der Analyse ergibt sich, dass ein Viertel aller aktuellen Aufträge in der VSM GmbH für die Roboterautomation in Bezug auf die Bearbeitungszeit geeignet sind. Wenn alle geeigneten Aufträge für die Roboterautomation verwendet werden, kann eine maximal Zeit von 2h pro Tag für den mannlosen Betrieb des Roboters gewährleistet werden.

Für eine effektive Nutzung der CNC-Automation mittels Roboterbestückung ist die Auftragslage der VSM GmbH unzureichend, um die Anschaffungskosten zu decken. Es können keine 3,64h mannloser Betrieb als realistischer Ansatz mit einer Amortisationszeit von 5 Jahren mit der aktuellen Auftragslage gewährleistet werden. Nur über den pessimistischen Ansatz von 10 Jahren Amortisationszeit, d.h. einem mannlosen Betrieb von ca. 1,8h pro Tag, kann eine Wirtschaftlichkeit erreicht werden.

## 5 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit bestand darin, den Einsatz eines Roboters an der CNC-Drehmaschine in der VSM GmbH in Bezug auf seiner Realisierung zu untersuchen. Im Mittelpunkt stand der Einsatz zur Bestückung von CNC-Drehmaschinen. Welche Möglichkeiten bieten sich dem Unternehmen für eine entsprechende Umsetzung?

Mit der Einleitung im ersten Kapitel, wurde das Thema dieser Arbeit aufgegriffen und die Problemstellung mit Zielsetzung beschrieben. Die Einordnung in den Stand der Technik, sowie des geschichtlichen Hintergrunds der Industrie, erfolgte im Kapitel 2. Das Ziel und die Einsatzgebiete der heutigen Automation wurden vorgestellt.

Kapitel 3 stellt den Einsatz von Robotern in der Industrie dar und definiert den Begriff Roboter für die Industrie. Der Aufbau und die Einsatzgebiete von Robotern sind weiterhin beschrieben. Vorgestellte Roboterarten waren dafür Cobots und Industrieroboter. Ebenso wird auf Sicherheit im Umgang mit Robotern und der Produktionssteigerung eingegangen.

Die theoretische und praktische Untersuchung wurde im Kapitel 4 vorgenommen. Dabei diente das CNC-Drehbearbeitungszentrum in der VSM GmbH als Vorlage für die Analyse des Teilespektrums. Es erfolgte eine theoretische Abhandlung zur Implementierung einer Roboterautomation und einer Kostenbetrachtung auf Hinsicht der Wirtschaftlichkeit für das Unternehmen. Zwei Varianten, SINUMERIK RunMyRobots und HandlichTech ecoZ, sind als Lösung für eine Automatisierung vorgestellt. Zur praktischen Untersuchung wurden erste Erfahrungen über das Praktikumsmodul gesammelt. Ein Messe-Exponat mit integriertem Roboter zum automatischen Transport von MintCards war dabei der Schwerpunkt.

Die Anschaffung einer Roboterautomation für die CNC-Drehbearbeitung ist ein großer Schritt für ein mittelständiges Unternehmen der Maschinen- und Anlagenbau-Branche und Bedarf guter Planung. Aus den Analysen dieser Arbeit lässt sich dieses Vorhaben jedoch nur schwer realistisch und auch wirtschaftlich für die VSM GmbH umsetzen. Durch den Fokus auf die Kleinteile- und Kleinserienfertigung fehlt es an ausreichend Aufträgen zur dauerhaften Arbeit für die Automation, ohne einen ständigen Wechsel durch den Mitarbeiter vorzunehmen. Die vorliegende CNC-Drehmaschine ist für einen teilweise konventionellen Betrieb ausgestattet und beinhaltet wenige Automatisierungskomponenten. Es würde ein aufwändiger Umbau schon allein an der Werkzeugmaschine vorgenommen werden müssen, was den Kostenaufwand immens erhöht. Der erste Einstieg über das Praktikumsprojekt Messe-Exponat gab zukunftsweisende Einblicke in die Automation mithilfe von Robotern. Es fehlt jedoch aktuell an großvolumigen Aufträgen und den Möglichkeiten zur Umsetzung für die Fertigung der VSM GmbH.



## Literatur

- [1] Schellinger, Jochen: Digital Business, Online unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-658-32323-3.pdf>, verfügbar am 28.05.2022, 13:43Uhr
- [2] Bundeszentrale für politische Bildung: Automatisierung, Online unter <https://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/lexikon-der-wirtschaft/18743/automatisierung>, verfügbar am 28.05.2022, 14:12Uhr
- [3] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Arbeit Weiter Denken Grünbuch Arbeiten 4.0, Berlin, Publikationsversand der Bundesregierung, 2015
- [4] Gabler Wirtschaftslexikon, Online unter <https://bdi.eu/artikel/news/was-ist-industrie-4-0/>, verfügbar am 30.05.2022, 14:16Uhr
- [5] Reinhart, Gunther: Handbuch Industrie 4.0, Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik, Wemding, HANSER, 2017
- [6] Keyence: Was ist IoT / Industrie 4.0, Online unter <https://www.keyence.de/ss/general/iot-casestudy/merit/introduction.jsp>, verfügbar am 08.06.2022, 11:33Uhr
- [7] Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung: IAB-Kurzbericht, Online unter <https://doku.iab.de/kurzber/2019/kb1319.pdf>, verfügbar am 05.06.2022, 10:24Uhr
- [8] Botthof, Alfons: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Berlin, Springer, 2015

- [9] Fraunhofer IAO: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Online unter [https://www.produktionsarbeit.de/content/dam/produktionsarbeit/de/documents/Fraunhofer-IAO-Studie\\_Produktionsarbeit\\_der\\_Zukunft-Industrie\\_4\\_0.pdf](https://www.produktionsarbeit.de/content/dam/produktionsarbeit/de/documents/Fraunhofer-IAO-Studie_Produktionsarbeit_der_Zukunft-Industrie_4_0.pdf), verfügbar am 05.06.2022, 10:53Uhr
- [10] Christaller, T.: Robotik, Perspektiven für menschliches Handeln in der zukünftigen Gesellschaft, Berlin, Springer, 2001
- [11] Kopacek, Peter: Robotik, Online unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00502-013-0134-4.pdf>, verfügbar am 05.06.2022, 11:08Uhr
- [12] IFR.: Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots, Online unter [https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive\\_Summary\\_WR\\_Industrial\\_Robots\\_2021.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2021.pdf), verfügbar am 05.06.2022, 11:21Uhr
- [13] Weber, Wolfgang: Industrieroboter, Methoden der Steuerung und Regelung, München, HANSER, 2022
- [14] DGUV Information 209-074: Industrieroboter, Online unter <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/270>, verfügbar am 07.06.2022, 13:36Uhr
- [15] GfA: Gegenwart und Zukunft kollaborationsfähiger Robotersysteme, 2020, Online unter [http://drkors.at/pdf/2020\\_Brandstoetter-Komenda\\_GfA-Herbstkonferenz\\_Gegenwart-und-Zukunft-kollaborationsfaehiger-Robotersysteme.pdf](http://drkors.at/pdf/2020_Brandstoetter-Komenda_GfA-Herbstkonferenz_Gegenwart-und-Zukunft-kollaborationsfaehiger-Robotersysteme.pdf), verfügbar am 05.06.2022, 14:40Uhr
- [16] Pfeffer, Matthias: Roboter in der Produktion: Kosten sparen und Produktivität steigern, Online unter <https://www.wirtschaftswissen.de/einkauf-produktion-logistik/produktionsplanung/betriebsleitung/roboter-in-der-produktion-kosten-sparen-und-produktivitaet-steigern/>, verfügbar am 08.06.2022, 14:07Uhr

- [17] Tuffentsammer, 1985, zitiert nach Uhlmann: Flexible Fertigungssysteme, Online unter [http://www.iwf.tu-berlin.de/uploads/media/WZM\\_II\\_VL\\_09\\_-\\_Flexible\\_Fertigungssysteme.pdf](http://www.iwf.tu-berlin.de/uploads/media/WZM_II_VL_09_-_Flexible_Fertigungssysteme.pdf), verfügbar am 02.06.2022, 13:59Uhr
- [18] UNITECH: UNITECH UT-Serie, Online unter <https://www.unitech-maschinen.de/maschinen/drehen/cnc-flachbettdrehmaschinen/unitech-ut-serie/ut-560/>, verfügbar am 02.06.2022, 14:02Uhr
- [19] Berg, Julia et. al.: Roboter für den Mittelstand, Online unter [https://digitalzentrum-augsburg.de/wp-content/uploads/2020/01/Leitfaden\\_Robotik\\_WEB.pdf](https://digitalzentrum-augsburg.de/wp-content/uploads/2020/01/Leitfaden_Robotik_WEB.pdf), verfügbar am 02.06.2022, 14:22Uhr
- [20] HandlingTech Automations-Systeme GmbH: Ihre flexible Roboterzelle ecoZ., o. J., Online unter <https://www.handlingtech.de/roboterzellen/plattformen>, verfügbar am 25.06.2022, 12:50Uhr
- [21] Reinhart, et. al.: Ab wann sich die Anschaffung eines Robotersystems lohnt, 2022, Online unter <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/ab-wann-sich-die-anschaffung-eines-robotersystems-lohnt-a-771839/>, verfügbar am 03.06.2022, 14:23Uhr
- [22] Nördinger, Susanne: Wie Roboter die Arbeit beim beladen von Maschinen erleichtern, 2020, Online unter <https://www.kollegeroboter.de/handwerk/wie-roboter-die-arbeit-beim-beladen-von-maschinen-erleichtern-109.html>, verfügbar am 03.06.2022, 14:32Uhr
- [23] Siemens AG: Dream Team für überlegene Produktivität, 2019, Online unter <https://docplayer.org/201300925-Sinumerik-run-myrobot-vereint-roboter-und-werkzeugmaschinen-siemens-desinumerik-robotics.html>, verfügbar am 17.06,14:33Uhr
- [24] Siemens – Comau: Run MyRobot /Direct Control, 2019, Online unter <https://mav.industrie.de/wp-content/uploads/C/o/Comau-Run-MyRobot-Direct-Control-2019-03-21.pdf>, verfügbar am 18.06,

- 13.32Uhr
- [25] Otto Warnecke KG, Roboterzellen der baureihe ecoZ, 2022, Online unter <https://www.otto-warncke.de/maschinen/automationsloesungen/pneumatische-systeme>, verfügbar am 25.06.2022, 13:12Uhr
- [26] HandlingTech Automations-Systeme GmbH: ecoZ Vielseitiger Allrounder, 2014, Online unter [https://www.otto-warncke.de/wp-content/uploads/2015/11/ecoZ\\_Prospekt\\_0314\\_DT\\_A4\\_FINALMA IL.pdf](https://www.otto-warncke.de/wp-content/uploads/2015/11/ecoZ_Prospekt_0314_DT_A4_FINALMA IL.pdf), verfügbar am 25.06.2022, 12:45Uhr

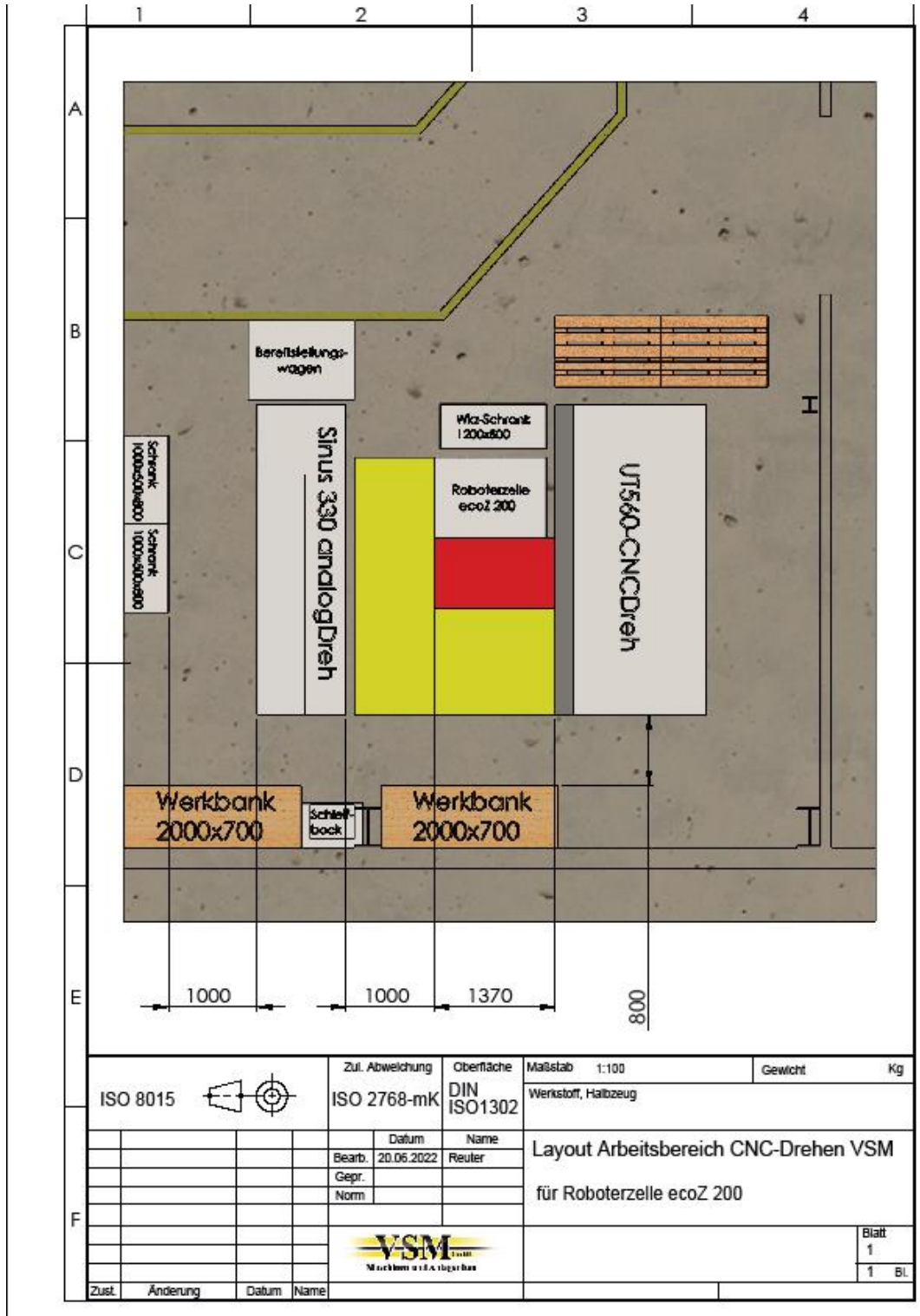
## Anlagen

Layout Arbeitsbereich CNC-Drehen VSM GmbH .....	<b>A-I</b>
Tabelle 3: VSM GmbH Teilespektrum allgemein (2020 – 2022) .....	<b>A-II</b>



# Anlagen, Teil 1

Layout Arbeitsbereich CNC-Drehen VSM GmbH



## Anlagen, Teil 2

Tabelle 3: VSM GmbH Teilespektrum allgemein (2020 – 2022)

Rückmeldenummer	Halbzeug [mm]	Material	Ausgangsgewicht [kg]	Stückzahl
51635	Ø22 x 223	9SMn28k	0,6	2
47709	Ø10 x 179	9SMn28k	0,1	6
51415	Ø15 x 61	AlMgSi0,5	0,05	8
50701	Ø10 x 5	ST 37k	0,01	10
39131	Ø120 x 45	C45k	4	1
51011	Ø260 x 65	S355J2	27	2
49388	Ø100 x 32	AlMgSi1	0,6	60
39130	Ø30 x 75	ST 37k	0,3	1
51012	Ø13,5x2,3 x 473	P235GH-TC1	0,3	2
51032	Ø16 x 300	X5CrNi18-10	0,5	60
48102	Ø15 x 37	X5CrNi18-10	0,02	1
48452	Ø20 x 45	X5CrNi18-10	0,1	4
52168	Ø15 x 38	9SMn28k	0,03	4
40372	Ø12 x 28	ST 37k	0,1	1
52171	Ø10 x 47	9SMn28k	0,05	1
48023	Ø8 x 48	9SMn28k	0,05	16
52530	Ø35 x 30	9SMn28k	0,2	12
52722	Ø45 x 25	9SMn28k	0,3	12
50287	Ø30 x 144	9SMn28k	0,7	12
52505	Ø35 x 25	9SMn28k	0,1	18
52504	Ø32x1 x 1917	E235+C	1,5	9
52732	Ø25 x 55	9SMn28k	0,1	3
50743	Ø18x1,5 x 2040	E235+C	1,2	2
51437	Ø20 x 218	9SMn28k	0,5	2
48415	Ø100 x 165	C45+C/SH	10	3
43145	Ø35 x 205	ST 37-2	1,5	3
37116	Ø12 x 180	C15k	0,15	4
41099	Ø20 x 24	ST 37k	0,06	50
52493	Ø100 x 22	AlMgSi1	0,2	10
43128	Ø75 x 50	X5CrNi18-10	1,5	2
41100	Ø300 x 515	S355J2+N	291	1
41810	Ø20 x 145	C45k	0,4	1
42231	Ø90 x 20	X5CrNi18-10	0,9	2
42634	Ø25 x 208	C45k	0,5	2
43348	Ø70 x 180	X5CrNi18-10	2,3	3
51000	Ø90 x 54	42CrMo4+QT	2,5	2
46007	Ø60 x 52	ST 37k	1,1	6
49063	Ø160 x 100	X5CrNi18-10	16	1

50159	Ø70 x 53	X5CrNi18-10	1,3	3
52277	Ø90 x 65	X5CrNi18-10	3,3	2
51652	Ø10 x 77	9SMn28k	0,05	4
39870	Ø50 x 15	ST 52k	0,2	4
45850	Ø12 x 27	ST 37k	0,02	5
46777	Ø45 x 145	ST50k	1,8	1
52387	Ø12 x 80	X5CrNi18-10	0,05	9
45868	Ø80 x 125	ST 37k	5	1
33681	Ø50 x 30	X5CrNi18-10	0,5	8
46921	25x25 x 392	X5CrNi18-10	2	5
50404	Ø30 x 30	X5CrNi18-10	0,2	200
49102	Ø30 x 44	X5CrNi18-10	0,25	20

# Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Großrückerswalde, den 15.07.2022

A solid black rectangular box used to redact the signature of the author.

Max Reuter

---