

Masterarbeit

**KONZEPT ZUR PROZESSOPTIMIERUNG EINES
SANDSTRAHLARBEITSPLATZES DURCH EINSATZ
EINES INDUSTRIEROBOTERS**

ausgeführt am



FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Gernot Gößler, BSc

1510322016

betreut und begutachtet von

DI Michael Gödl

Gratwein-Straßengel, im Dezember 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "G. Gößler", written over a horizontal dotted line.

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

Meiner wunderbaren Frau und meinen großartigen Söhnen möchte ich für die moralische Unterstützung und für die unendliche Motivation während der gesamten Studienzeit danken, ihr seid Antrieb, Rückhalt und vor allem Inspiration. Danke für die selbstlose Bereitstellung Eurer kostbaren Zeit und der damit verbundenen, unzähligen Gespräche während der Erarbeitung dieser Inhalte.

Danken möchte ich an dieser Stelle auch meinen Eltern für die unzähligen Unterstützungen jeglicher Art während der gesamten Studienzeit. Meinem Bruder danke ich für die Entlastung im Unternehmen durch enormen Einsatz und den notwendigen mentalen Rückhalt.

Meiner unternehmensinternen Betreuerin Tanja Stadler und meinem Betreuer seitens der FH, Herrn Michael Gödl, möchte ich ebenfalls für die moralische Unterstützung und für Rat und Tat bei der Ausarbeitung dieser Masterarbeit danken.

KURZFASSUNG

Um die gesamten Vorteile von Automatisierungstechniklösungen auch für die Klein- und Mittelserienfertigung nutzen zu können ist es notwendig intelligente und kompakte Systeme mit einem hohen Maß an Modularität und Flexibilität zu schaffen. Anders als bei der Massenproduktion ist ein wirtschaftlicher Investitionsgrad nur bedingt erreichbar. Harte Konkurrenz aus Billiglohnländern und Facharbeitermangel sind, ebenso wie die geforderte Flexibilität, Schlagwörter in der mechanischen Fertigung. Für die Firma Stadler als mittelständisches Lohnfertigungsunternehmen sind dies Indikatoren für die Implementierung von Automatisierungslösungen, Hauptaugenmerk wurde dabei auf den Bereich der internen Montage gelegt.

Die Aufgabenstellung dieser Masterarbeit ist die Erstellung eines Konzeptes für eine Prozessautomatisierung. Beim betrachteten Prozess handelt es sich um einen Sandstrahlprozess für intern gefertigte Aluminium Frästeile. Nach genauer Analyse der Aufgabenstellung und aller Prozessparameter, wird dieser Prozess in Prozessgruppen zerlegt, analysiert und die bisherige Vorgehensweise samt Schwachstellen und Potenzialen definiert. Auf Basis dieser Analyse folgt die Konzepterstellung und anschließende Systemauswahl mit Hilfe einer Nutzwertanalyse. Nach der Auswahl des Systems und der geeigneten Komponenten kommt es zur konstruktiven Umsetzung mit den internen CAD-Werkzeugen. Im Anschluss wird das Konzept einer Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen, Ziel ist es die Innovation, innerhalb des von der Geschäftsführung definierten Investitionsvolumens, anzuschaffen und die vorgegebene Amortisationsdauer einzuhalten.

Abschließend werden die Erkenntnisse dargestellt die während der Erarbeitung der Inhalte entstanden sind und Empfehlungen für die Umsetzung, sowie weitere Vorgehensschritte angegeben.

ABSTRACT

In order to make use of all the advantages of automation solutions for the production of low batches it is necessary to create intelligent and compact systems, including a high degree of modularity and flexibility. As distinguished from mass production, an economical degree of the capital expenditure is just partly reachable. Fierce competition from low-wage countries and lack of technicians in connection with claimed flexibility are catchwords in mechanic production. For Stadler Ltd. as a middle-class toll manufacturer these are indicators for automation solutions, the focus is on the company's assembling division.

The task of this master thesis is the concept development of a process automation. The relevant process is a sand blasting process for internally manufactured milling parts. According to the detailed analysis of the task and all of the process parameters, the process is analysed and disassembled in process groups, and the current strategy is defined, including the weak spots and also potential. Based on this analysis the concept development occurs followed by system selection by means of a cost-benefit analysis. After the selection of the system and the suitable components the constructive implementation occurs by means of the internally CAD tools. Subsequently the concept is going to be the subject of a cost-efficiency study, with the aim of the acquisition of the innovation within the investment volume, which is defined by the management, and within the payback period.

Finally the findings obtained during the writing of this thesis are represented and recommendations for the implementation, as well as the next steps are indicated.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Aufgabenstellung und Ausgangssituation	1
1.2	Untersuchungsdesign und Ziel der Masterarbeit.....	2
2	Das Unternehmen STADLER Sensorik CNC-Technik GmbH	5
2.1	Vorstellung des Unternehmens	5
2.2	Produkt- und Serviceportfolio	5
2.3	Internes Technologiemanagement	5
2.4	Internes Innovationsmanagement	6
2.5	Qualitätsmanagement und ISO 9001:2008	8
3	Stand der Technik in der Industrierobotik	9
3.1	Begriffsdefinition Handhabungstechnik	9
3.2	Begriffsdefinitionen Handhabungsgeräte	9
3.2.1	Teleoperator und Manipulator.....	10
3.2.2	Einlegegeräte.....	11
3.2.3	Industrieroboter.....	12
3.3	Planung von Handhabungsabläufen	13
3.4	Industrierobotersysteme und Arbeitsumgebungen.....	14
3.5	Komponenten eines Robotersystems.....	15
3.5.1	Kinematik	17
3.5.2	Koordinatensysteme und Bezugspunkte	24
3.5.3	Kenngößen von Industrierobotern	30
3.5.4	Programmierung und Steuerung	32
3.5.5	Antriebe und Achsregelung	35
3.5.6	Mechanische Peripherie	37
3.5.6.1	Greifer.....	38
3.5.6.2	Werkzeuge	40
3.5.6.3	Sensorintegration	40
3.5.6.4	Werkzeugwechselsysteme	41
3.5.7	Arbeitssicherheit	41
4	Stand der Technik beim Sandstrahlen	44
4.1	Druckluftstrahlverfahren.....	44
4.1.1	Strahldüse.....	45
4.1.2	Strahlmittel	46
4.1.3	Einflussfaktoren auf das Strahlergebnis	46
4.1.4	Arbeitsschutz	47
4.2	Sandstrahlen als Vorbehandlungsverfahren	48
4.3	Vorbehandlung zum Sandstrahlen – Entfetten der Bauteile	50
4.4	Zonenerhebung nach VEXAT	52
4.4.1	Begriffsdefinitionen	52

4.4.2	Ermittlung und Beurteilung der Explosionsgefahren	53
4.4.3	Explosionsschutzdokument	53
5	Prozessanalyse und Komponenten	56
5.1	Analyse Prozess Sandstrahlen	56
5.2	Aktueller Prozessablauf und Prozessparameter	57
5.2.1	Prozessgruppen und Prozessablaufplan	59
5.2.2	Qualitätsmerkmale des Endprodukts	61
5.2.3	Durchsatzberechnung	61
5.2.4	Gegenüberstellung der SOLL- und IST-Zeiten	65
5.3	Prozessschwachstellen und Verbesserungspotenzial	66
5.4	Erhebung und Analyse des Arbeitsumfeldes	67
5.4.1	Erstellung Fragenkatalog zur Erhebung des Arbeitsumfeldes	68
5.4.2	Auswertung des Fragenkataloges als IST-Standerhebung	70
5.4.3	Erkenntnisse der IST-Standerhebung	72
6	Konzepterstellung	73
6.1	Erstellung eines Grobkonzepts	73
6.1.1	Anlagenmultifunktionalität	73
6.1.2	Grobkonzept mit Prozessablaufplan	74
6.1.3	Zu berücksichtigende Sicherheitsaspekte	75
6.2	Systemauswahl	75
6.2.1	Definition der internen Anforderungen an eine Industrieroboterlösung	76
6.2.2	Überführung der Anforderungen in Kennzahlen	77
6.2.3	Definition der Kennzahlen	78
6.2.4	Infrage kommende Systeme	80
6.2.5	Nutzwertanalyse als Entscheidungshilfe	82
6.2.6	Durchführung der Nutzwertanalyse	83
6.3	Greiferauswahl	84
6.3.1	Anforderungen an den Greifer	84
6.3.2	Kräfte am Greifer	85
6.3.3	Greiferkonzept	86
6.3.4	Greiferauswahl	86
7	Konstruktionsphase	88
7.1	Konstruktion und Simulation der Arbeitsumgebung	88
7.1.1	Phasen des methodischen Konstruierens	88
7.1.2	Konstruktion mittels 3D-CAD System	91
7.1.3	Durchführung der Konstruktion	92
7.1.4	Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse	95
8	Wirtschaftlichkeitsberechnung	97
8.1	Definition der Ausgangszahlen	97
8.2	Annahmen für die Konzeptauslegung	98
8.3	Berechnung der Amortisationsdauer	99
8.4	Auswertung und Verifizierung der Ergebnisse	101

9	Erkenntnisse und Ausblick	102
9.1	Zusammenfassung	102
9.2	Gewonnene Erkenntnisse.....	102
9.3	Persönliches Resümee	103
9.4	Ausblick auf die technische Umsetzung	103
	Literaturverzeichnis	104
	Abbildungsverzeichnis.....	106
	Tabellenverzeichnis.....	110
	Anhang 1: Datenblatt Stäubli TX60L CS8C	111
	Anhang 2: Datenblatt SMC MHZ2-20C(N).....	112
	Anhang 3: Datenblatt SMC MHZA2-6C.....	113
	Anhang 4: Berechnung ROI	114
	Anhang 5: Formular Anforderungsliste.....	115
	Anhang 6: Formular VEXAT-Erhebung Seite 1.....	116
	Anhang 7: Formular VEXAT-Erhebung Seite 2.....	117
	Anhang 8: Formular VEXAT-Erhebung Seite 3.....	118
	Anhang 9: Angebot Stäubli Seite 1	119
	Anhang 10: Angebot Stäubli Seite 2	120
	Anhang 11: Angebot ABB.....	121
	Anhang 12: Dokument Mitarbeiterbefragung Seite 1	122
	Anhang 13: Dokument Mitarbeiterbefragung Seite 2	123
	Anhang 14: Berechnung Greifkraft Seite 1.....	124
	Anhang 15: Berechnung Greifkraft Seite 2.....	125
	Anhang 16: Berechnung Greifkraft Seite 3.....	126
	Anhang 17: Berechnung Greifkraft Seite 4.....	127
	Anhang 18: Berechnung Greifkraft Seite 5.....	128

1 EINLEITUNG

1.1 Aufgabenstellung und Ausgangssituation

Technologische Verfügbarkeit und Kontinuität in der Qualität sind die beiden Haupteinflussfaktoren für industrielle Automatisierung im Bereich der Prozessoptimierung bei der Firma STADLER Sensorik CNC-Technik GmbH in Deutschfeistritz. Darüber hinaus sind das Loseisen von Fachpersonal, die Anschaffung neuer Technologien und der unternehmerische Import neuer Innovationen zusätzliche Indikatoren. Demgegenüber stehen im betrachteten Fall stetig schwankende Stückzahlen, sowie ein enormer und immer stärker werdender Bedarf an Flexibilität – zwei Einflussfaktoren die für das mittelständische Lohnfertigungsunternehmen zukünftig mit qualitativer Kontinuität und technologischer Verfügbarkeit verknüpft werden sollen.

Diese Masterarbeit befasst sich mit der Erarbeitung eines Konzeptes für die Automatisierung eines bestehenden, manuellen Arbeitsplatzes unter Berücksichtigung der voran genannten Kriterien. Beim betrachteten Prozess handelt es sich um einen Finishing-Prozess für intern gefertigte Aluminium-Frästeile. Die Oberflächen dieser bearbeiteten, blanken Aluminium-Frästeile werden durch Behandlung mit dem Strahlgut für die weitere, externe Behandlung vorbereitet, Abbildung 1 zeigt die rohen Frästeile sowie die Endprodukte des Prozessschrittes Sandstrahlen.

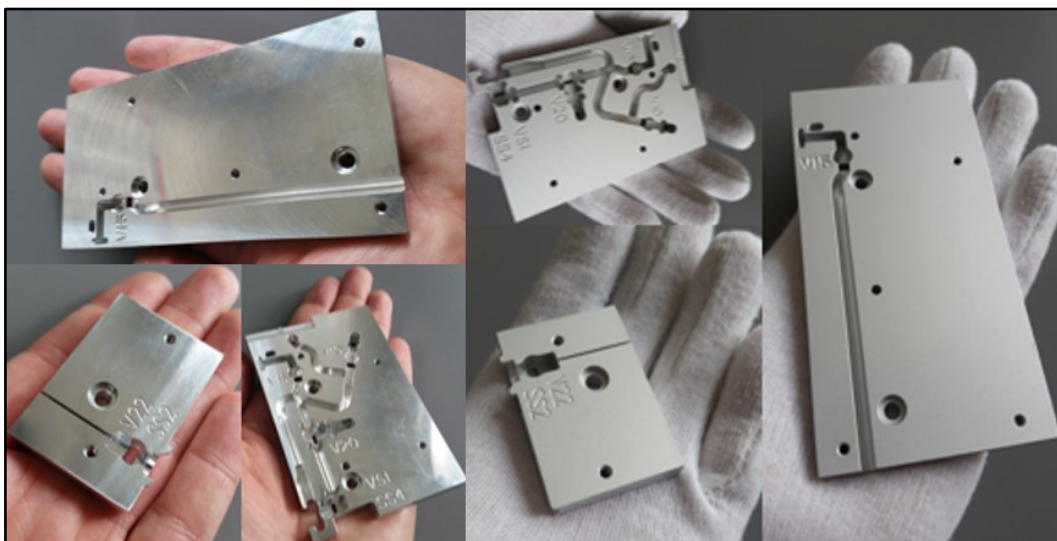


Abb. 1: Input- und Output-Darstellung beim Prozess Sandstrahlen, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Ausgangssituation bilden ein bereits bestehender, manueller Sandstrahlarbeitsplatz samt der umliegenden Arbeitsumgebung, sowie die intern gefertigten Aluminium-Frästeile. Voraussetzung für die geplante Umsetzung der Automatisierungslösung sind die einzuhaltenden Oberflächenmerkmale, die den strengen externen Vorgaben entsprechen, diese werden in Kapitel 5 analysiert.

Aus dieser definierten Aufgabenstellung, basierend auf der gegebenen Ausgangssituation, wurde folgende forschungsleitende Fragestellung abgeleitet: Ist eine Automatisierungslösung für diesen manuellen Prozess Sandstrahlen unter Berücksichtigung der hohen Qualitätsansprüche realisierbar, und kann diese in weiterer Folge wirtschaftlich umgesetzt werden?

1.2 Untersuchungsdesign und Ziel der Masterarbeit

Mit dem in Abbildung 2 dargestellten Untersuchungsdesign dieser Masterarbeit wird der Aufbau, sowie die Vorgehensweise bei der Erarbeitung der dargestellten Inhalte, vereinfacht erklärt, um dem Leser in weiterer Folge einen roten, durchgängigen Faden zu gewährleisten.

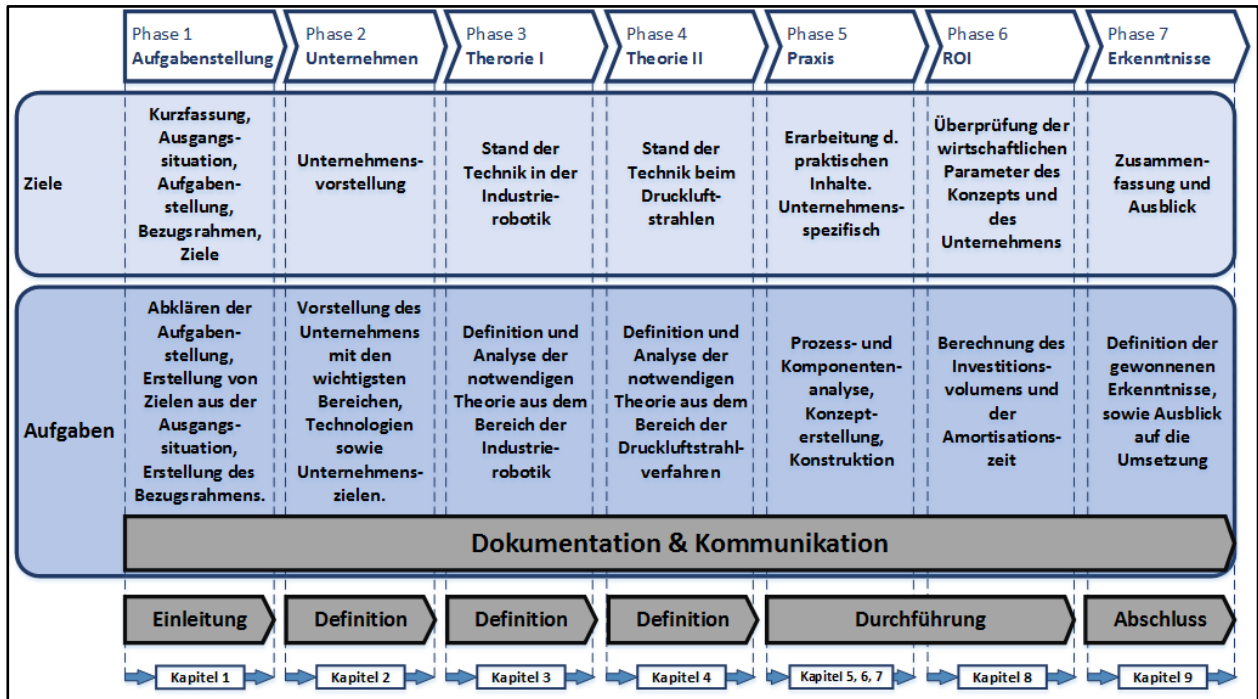


Abb. 2: Untersuchungsdesign der Masterarbeit, Quelle: Eigene Darstellung.

Nach einer kurzen Einleitung durch die Definition der Aufgabenstellung und der Ausgangssituation, wird unterstützt durch eine kurze Beschreibung des Unternehmens Stadler Sensorik CNC-Technik GmbH der theoretische Teil dieser Masterarbeit definiert. Als theoretischer Teil der Arbeit verstehen sich die fachspezifischen Grundlagen aus der Literatur der Bereiche Industrierobotik und Druckluftstrahltechnik. Diese theoretischen Grundlagen dienen dem leichteren Verständnis der folgenden praktischen Inhalte. Der folgende praktische Teil wird durch die Analyse des Prozesses sowie die Definition der einzelnen Komponenten, die Konzepterstellung und die anschließende Konstruktion beschrieben. Das erarbeitete Konzept samt Konstruktion wird im Anschluss mittels Berechnung der wirtschaftlichen Parameter auf das Investitionsvolumen und die Amortisationszeit untersucht. Abschließend werden die während der Erarbeitung der Inhalte gewonnen Erkenntnisse sowie ein Ausblick auf die technische Umsetzung dargestellt.

Die Zielsetzung dieser Masterarbeit ist dem Kontext der Organisation entsprechend nicht an einen einzelnen Unternehmensbereich gerichtet. Um alle Anforderungen und Aspekte optimal berücksichtigen zu können wurden die Ziele den entsprechenden Unternehmensbereichen angepasst und wie folgt definiert:

Ziele des Qualitätsmanagements

Das Qualitätsmanagement, und darüber hinaus die Qualitätssicherung als deren verlängerter Arm, fordern von einem Reengineering des bereits bestehenden Prozesses die Beibehaltung der qualitativen

Kundenanforderungen. Das zukünftige Prozessergebnis muss dem aktuellen entsprechen. Prozessschwachstellen sollen bei der Planung und Konzipierung berücksichtigt werden und nach Möglichkeit Lösungen dafür erarbeitet werden.

Ziele der strategischen Planung

Durch die zeitliche Entlastung der Fachkräfte im Unternehmen soll es der Produktionsleitung ermöglicht werden langfristig besser planen zu können, und in Verbindung damit auch ein gewisses Maß an Flexibilität für kurzfristige Kundenwünsche zu schaffen.

Ziele des Technologiemanagements

Die technologischen Ziele des Unternehmens sind die Implementierung einer neuen Technologie im Unternehmen und die damit verbundene Erweiterung des Maschinenparks, sowie die Aufwertung des Service- und Dienstleistungsportfolios. Dabei gilt zu beachten, dass neue Technologien generell für einen multifunktionalen Einsatz konzeptioniert werden sollen, da Flexibilität für die Bestandskunden eine wichtige Rolle spielt, Tabelle 1 zeigt die technologischen Anforderungen mittels morphologischen Kasten.

Teilfunktion	Ausprägung			
	1	2	3	4
Strategie	Bewegtes Bauteil	Bewegte Strahldüse	Beide Teile bewegt	
Roboterart	Knickarmroboter	SCARA	Hexapod	3-Achs-System
Traglast in kg	<1	1-3	3-5	>5
Unterbau	Fix	Mobil	Nullpunktspannsystem	
Montageart	Decke	Wand	Boden	
Armlänge in mm	<500	500-700	700-900	>900
Greifer	Sauggreifer	Parallelgreifer		
Roboterschutz	Überdruckeinheit	Faltenbalg	Absaugung	
Kabine	Bestehend	Neu		
Sicherheitseinrichtung	Optische Sensoren	konstruktive Maßnahmen		
Teile-bereitstellung	Sortiert	Unsortiert	Sortiert u. Orientiert	
Teileablage	Chaos	wie geliefert	neu abgelegt	
Auftragsmenge Stück	<50	50-250	>250	

Tab. 1: Bestimmung der technologischen Ziele durch Aufspaltung in technische Teilfunktionen mittels Morphologischen Kasten, Quelle: Eigene Darstellung.

Technische bzw. technologische Ziele dieser Masterarbeit sind somit die Erstellung eines Konzepts für die Automatisierung des manuellen Arbeitsplatzes durch einen Industrieroboter. Diese Automatisierungstechniklösung soll eine Adaption des bereits bestehenden Arbeitsplatzes sein und bestehendes Equipment einbinden. Das gesamte unternehmerische Knowhow soll bei der Projektumsetzung eingebunden werden und im Weiteren dadurch auch erweitert werden, um Kernkompetenzen wie Roboterprogrammierung, Sicherheitstechnik, Anlagenwartung und Instandhaltung, sowie Simulation von Arbeitsabläufen sollen im Unternehmen geschaffen und ausgebaut werden. In Tabelle 1 wird als Vorgriff auf Kapitel 7, die Konzepterstellung, die Darstellung der Zerlegung in technische Teilfunktionen zur technischen und technologischen Zielsetzung gezeigt. Diese technischen Ziele werden

im Verlauf dieser Masterarbeit, gestützt durch die beschriebene Theorie und die Analyse der vorhandenen Arbeitsumgebung, im praktischen Teil erarbeitet.

Ziele des Innovationsmanagements

Aus innovativer Sicht spielt bei der Prozessautomatisierung die Implementierung neuer Technologien, die Verwendung neuer Arbeitsmittel und die Anwendung neuartiger Strategien ebenso eine Rolle wie das Fördern kreativer Lösungsvarianten und prozessübergreifende Interaktionen.

Ziele der Unternehmensführung

Die Vorgaben der Geschäftsführung setzen sich im Wesentlichen aus zwei Hauptfaktoren zusammen. Zum einen gilt es in Verbindung mit dem Unternehmensbereich Finanzen und Controlling dafür zu sorgen, dass Investitionen dem Unternehmensziel dienen und einer vorab definierten Amortisationsdauer entsprechen und zum anderen die Qualität im Ganzen verbessert wird. Qualitative Verbesserungen sollen die gefertigten Produkte genauso wie die eigenen Mitarbeiter, die internen Prozesse oder die Kommunikation über die Unternehmensgrenzen hinaus betreffen.

Ziele des Forschungs- und Entwicklungsmanagements

Das Management von Forschung und Entwicklung, als Schnittstelle von Technologie- und Innovationsmanagement, setzt den Fokus hinsichtlich der Ziele dieser Arbeit auf die Entwicklung und Implementierung neuer Produktionsstrategien und Werkzeuge. Dies soll das Fundament für eine unternehmerische Weiterentwicklung darstellen.

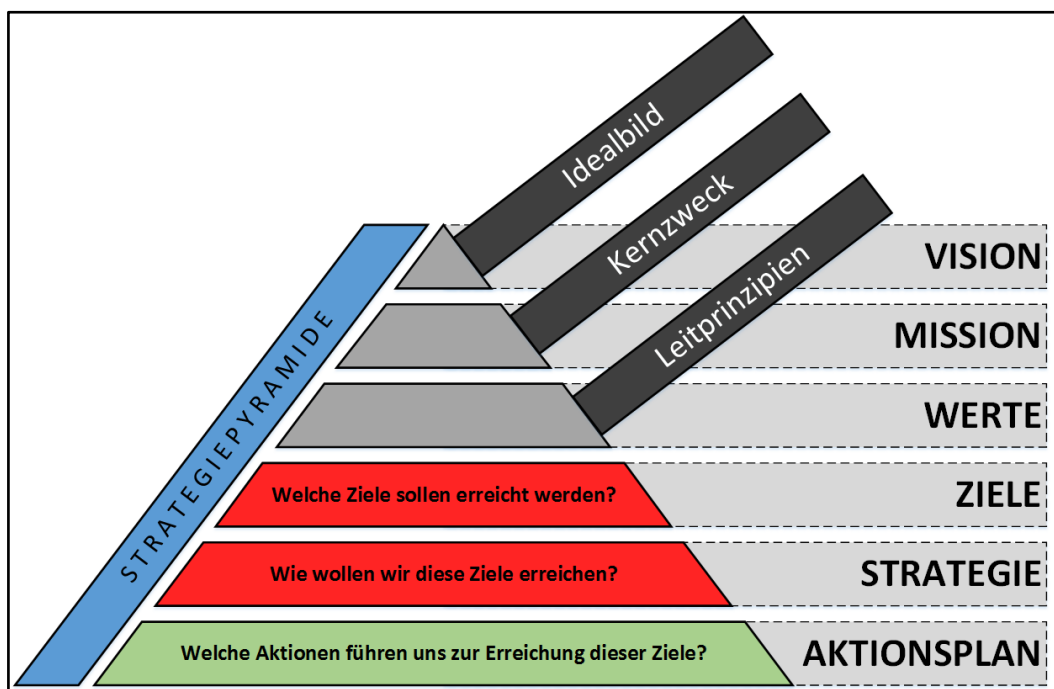


Abb. 3: Strategiepyramide einer Unternehmung, Quelle: In Anlehnung an Wannewetsch (2005),S. 382.

Die Einbindung der Ziele dieser Masterarbeit in die unternehmerische Strategie der Firma Stadler ist in Abbildung 3 dargestellt. Neben der Definition der zu erreichenden Ziele und der dafür benötigten Strategien, beides in Rot dargestellt, wird auch ein Aktionsplan beschrieben. Der Aktionsplan beinhaltet Maßnahmen welche für die Erreichung dieser Ziele umgesetzt werden müssen.

2 DAS UNTERNEHMEN STADLER SENSORIK CNC-TECHNIK GMBH

Um dem Leser die Thematik dieser Masterarbeit verständlich machen zu können und einem Folgen des anfangs erwähnten roten Fadens bei der Lektüre dieser Arbeit zu unterstützen wird in diesem Kapitel das Unternehmen, bei dem diese Arbeit durchgeführt, wird beschrieben.

2.1 Vorstellung des Unternehmens

Die Firma STADLER Sensorik CNC-Technik GmbH wurde 1994 von Herrn Ing. Wilfried Stadler sen. als Einzelunternehmen mit dem Aufgabengebiet der induktiven Wegmessung gegründet. Im Laufe der letzten 20 Jahre hat sich der Betrieb zu einem mittelständischen Lohnfertigungsunternehmen im Bereich der Fertigung von Klein- und Mittelserien von Dreh- und Frästeilen entwickelt. Aktuell arbeiten 40 Mitarbeiter in den verschiedensten Unternehmensbereichen für die Zufriedenheit der nationalen und internationalen Kunden.

2.2 Produkt- und Serviceportfolio

Auf den insgesamt 12 Bearbeitungszentren werden im Zweischichtbetrieb Präzisionsteile aus vorwiegend Aluminiumlegierungen und rostfreien Stählen gefertigt, aber auch Buntmetalle, Kunststoffe und Sonderwerkstoffe wie z.B. Tantal, Molybdän, Magnesium oder Titan werden spanend bearbeitet. Funkenerosives Drahtschneiden, Kunststoffspritzguß und das Bearbeiten und Biegen von Kapillarrohren runden das Fertigungsangebot des Unternehmens ab. Mit der Anschaffung einer eigenen CAD/CAM-Software hat das Unternehmen einen weiteren Schritt zur Komplettierung des bestehenden Portfolios unternommen. Man kann den Kunden nun eine Produktbegleitung von der Konstruktion, über die Prototypen- und Musterteilphase, bis hin zur Serienfertigung bieten und den Leitsatz „Ihr Produkt ist auch unser Produkt“¹ umsetzen.

Um den Kunden einsatzbereite Teile liefern zu können, bietet man bei Stadler auch Serviceleistungen wie die kundenspezifische Teilereinigung, Gleitschleifen, Pulverbeschichten oder Glasperlenstrahlen an. Für den Bereich der Teilereinigung wurde in einen Waschraum mit explosionsgeschützter Ausführung investiert, um mit leichtentzündlichen Medien die optimale Reinigungswirkung entsprechend internationaler Normen gewährleisten zu können. Diverse Oberflächenveredelungen, wie z.B. Chromatieren, Eloxieren und chemisches oder galvanisches Vernickeln, werden von ausgewählten, langjährigen Partnern durchgeführt. Induktive Sensorsysteme für die Motormesstechnik werden nach wie vor noch komplett intern entwickelt.

2.3 Internes Technologiemanagement

In der Literatur wird das Technologiemanagement als inhaltlicher Teil der Unternehmensführung dargestellt. Es beinhaltet alle Aktivitäten zur Planung der Sicherung und Stärkung der Marktposition eines Unternehmens. Dabei steht der Fokus ganz deutlich auf der Änderung einer Technologie, eines Produktes oder der eingesetzten Produktionstechnologie. Die wesentliche Kernaufgabe des Technologiemanagements ist die Bereitstellung von Technologien, in Form von Produkt-, Produktions- und Materialtechnologien, für die aktuell und zukünftig stattfindende Leistungserbringung zum richtigen Zeitpunkt und zu angemessenen Kosten.²

¹ Vgl. Stadler Sensorik CNC-Technik GmbH (2008), Onlinequelle [01.12.2016].

² Vgl. Klaapert/Schuh (2011), S. 5.

Technologie- und Innovationsmanagement überlappen und ergänzen sich stark, womit davon ausgegangen werden kann, dass sich das Technologiemanagement nicht isoliert von anderen benachbarten Unternehmensdisziplinen betrachten lässt. Wichtig ist jedoch die unterschiedliche Betrachtung von Objekten der beiden Bereiche, während sich das Technologiemanagement auf Technologien im Sinne von Fähigkeiten als Prozessinput konzentriert, fokussiert sich das Innovationsmanagement konkret auf das Produkt, also den Output der Prozesse. Wie Abbildung 4 zeigt, ist das Forschungs- und Entwicklungsmanagement als die Schnittmenge von Technologie- und Innovationsmanagement dargestellt.³

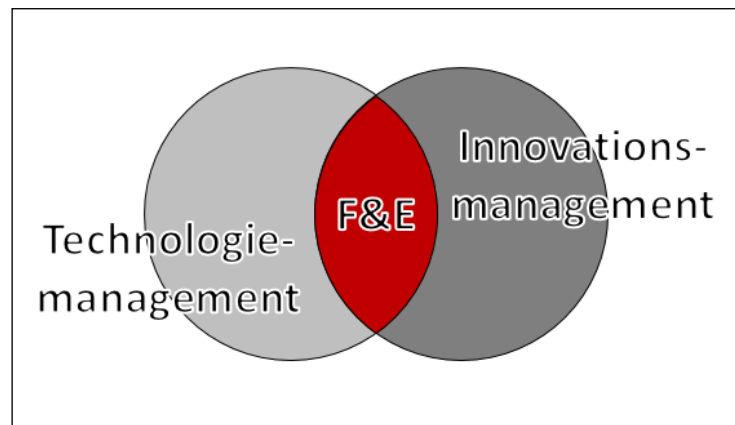


Abb. 4: Unternehmensbereich F&E als Schnittmenge von Technologie- und Innovationsmanagement, Quelle: Eigene Darstellung

Das Technologiemanagement geht unternehmensintern stark in Richtung Präzision und Zuverlässigkeit. Aktuell befindet sich das Unternehmen gerade in der Implementierungsphase einer Präzisionsdrehmaschine eines namhaften Herstellers um auf hoch genaue Kundenanforderungen bei Drehteilen zu reagieren. Parallel dazu läuft die Einführung einer neuen Messtechnik für die Produktion um einerseits bereits während der Produktion die Qualitätssicherung zu gewährleisten und andererseits Kundenanforderungen in Bezug auf Genauigkeit im Bereich von Form-Lagetoleranzen zu erfüllen. Der Maschinenpark wird ständig erneuert um somit auf Anforderungen des Marktes reagieren zu können, dies verschafft dem Unternehmen Stadler in Verbindung mit dem Knowhow kompetenter Mitarbeiter eine gute Basis im internationalen Wettbewerb.

2.4 Internes Innovationsmanagement

Wörtlich übersetzt bedeutet der Ausdruck Innovation „Neuerung“ bzw. „Erneuerung“, und ist von den beiden lateinischen Bezeichnungen *novus* für „neu“ und *innovatio* für „etwas neu Geschaffenes“ abgeleitet. Prinzipiell muss man zwischen der Invention und der Innovation unterscheiden. Die Invention, zu Deutsch die Erfindung, wird erst dann zur Innovation wenn sie am Markt eingeführt wird und dort im unternehmerischen Sinn erfolgreich ist.⁴

³ Vgl. Klappert/Schuh (2011), S. 5.

⁴ Vgl. Hartschen (2009), S. 7.

Auf Managementebene besitzt die Innovation einen hohen Stellenwert, da sie sich damit beschäftigt wie Unternehmen oder einzelne Unternehmensbereiche auf Basis von neuem technologischem Wissen neue Produkte oder Services auf dem Markt etablieren können. Diese Neuerungen betreffen im Allgemeinen alle Bereiche eines Unternehmens, dargestellt in Abbildung 5. Das Innovationsmanagement beschreibt damit gemeinsam mit dem Technologiemanagement eine Querschnittsfunktion von der internen Forschung und Entwicklung als Produktionsfunktion über die Vermarktung Innovationen als Absatzfunktion bis hin zu Organisation, Finanzierung und Controlling von Innovationen. Daraus ergibt sich wiederum, dass das Innovationsmanagement in Verbindung mit dem Technologiemanagement in hohem Ausmaß die strategischen Fragestellungen im Unternehmen umfasst, um im Anschluss darüber hinaus operative Fragen zu beantworten. Diese Antworten der operativen Fragestellungen führen dann potenziell dazu, dass aus einer Idee ein neues Produkt bzw. Service generiert werden kann. Auf die strategische Ebene übertragen bedeutet das, dass das Technologie- und Innovationsmanagement Aussagen zu internen Perspektiven der Ressourcen machen muss. Diese Ressourcen umfassen auf der einen Seite die Technologien, sowie Wissen und Kompetenzen der Mitarbeiter auf der anderen. Dem gegenüber, und in direktem Zusammenhang damit, steht die Berücksichtigung der externen Perspektiven der Märkte. Diese externen Perspektiven umfassen Kunden und deren Anforderungen, Lieferanten, Kooperationspartner und Wettbewerber.⁵

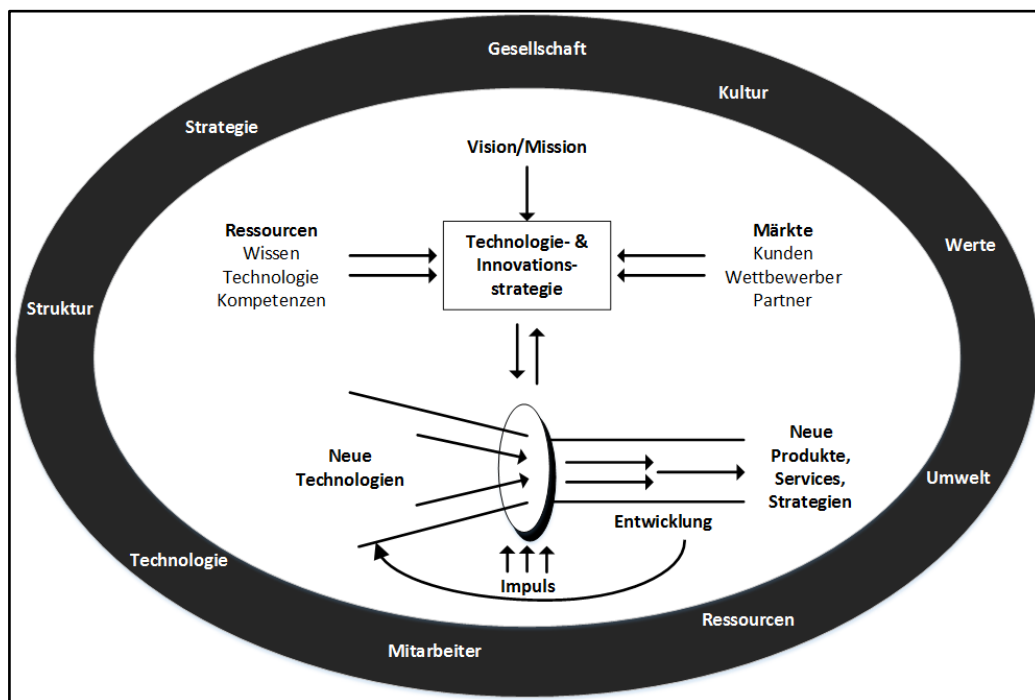


Abb. 5: Einflüsse auf die Bereiche Technologie- und Innovationsmanagement, Quelle: Albers/Gassmann (2005), S. 6 (leicht modifiziert).

Technologisch gesehen befindet sich das Unternehmen Stadler seit der Gründung in einem stetigem Wachstumsprozess, der zu Beginn von der Suche nach Inventionen geprägt war und sich im Laufe der Zeit des wirtschaftlichen und technologischen Wachstums hin zum Innovationstreiber verändert hat. Man versucht nicht mehr nur mit einer eigenen Erfindung Unabhängigkeit zu finden, sondern arbeitet bewusst

⁵ Vgl. Albers/Gassmann (2005), S. 5.

3 STAND DER TECHNIK IN DER INDUSTRIEROBOTIK

Dieses Kapitel befasst sich im Wesentlichen mit den Grundlagen der Handhabungstechnik sowie dem Stand der Technik im Bereich der Industrieroboter, in dessen Verlauf die theoretischen Aspekte für das Verständnis des praktischen Teils dieser Arbeit erläutert werden.

3.1 Begriffsdefinition Handhabungstechnik

Handhaben ist definiert als das Schaffen, definiertes Verändern oder das vorübergehende Aufrechterhalten einer räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugssystem.⁷ Dieser Begriff ist von der menschlichen Hand und deren Aktionsspielraum abgeleitet und umfasst sämtliche Aufwendungen in Form von technischen Hilfsmitteln und Bewegungen die notwendig sind um Handhabungsobjekte in einem definierten Arbeitsbereich zu bewegen.⁸

3.2 Begriffsdefinitionen Handhabungsgeräte

Zur Klasse der Handhabungsgeräte gehören, wie die Aufteilung in Abbildung 7 zeigt, neben den Industrierobotern auch Manipulatoren, Teleoperatoren und Einlegegeräte. Diese Aufteilung passiert grundlegend nach dem Umfang ihrer Steuerungsfunktion. Manipulatoren und Teleoperatoren werden manuell vom Bediener gesteuert, dies kann direkt per Handsteuerung als auch über eine Fernsteuerung passieren. Einlegegeräte steuert man entweder mechanisch oder mittels SPS und Industrieroboter werden frei programmierbar gesteuert.⁹

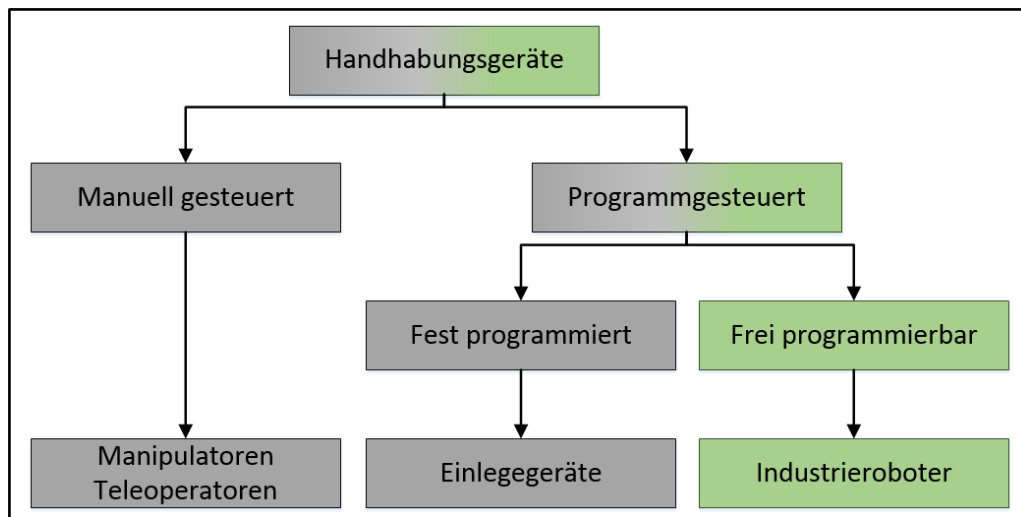


Abb. 7: Einteilung der Handhabungsgeräte, Quelle: Eigene Darstellung.

Mit diesen Handhabungsgeräten ist es möglich definierte Körper, wie zum Beispiel Werkstücke, im Raum zu positionieren und deren Orientierung eindeutig festzulegen.¹⁰

⁷ Vgl. VDI 2860 (1990).

⁸ Vgl. Hesse (2010), S. 178.

⁹ Vgl. Weck (2005), S. 539.

¹⁰ Vgl. Weck (2005), S. 539.

Typische Anwendungen für Balancer sind Schwerlasthandhabungen, Medizin- und Kerntechnik, sowie Maschinenbeschickung und Werkzeugwechsel. Um Aktionen in schlecht zugänglichen, engen und möglichen hinterschnittenen Arbeitsräumen durchführen zu können kommen redundante Manipulatoren zum Einsatz. Diese Art der Manipulatoren besitzt mehr Freiheitsgrade als die mindestens notwendigen, um die Position und Orientierung im Raum durchführen zu können.¹⁵

Werden diese Manipulatoren über eine Remoteeinheit ferngesteuert spricht man von Teleoperatoren. Während Manipulatoren als reine Kraftverstärker dienen wird bei Teleoperatoren nicht nur die Hubarbeit unterstützt sondern auch zusätzliche Achsen mittels Motoren in Bewegung gebracht. Diese Art von Maschinen kommt am häufigsten in Form von Lastkränen in den unterschiedlichsten Produktionsbereichen zum Einsatz.¹⁶

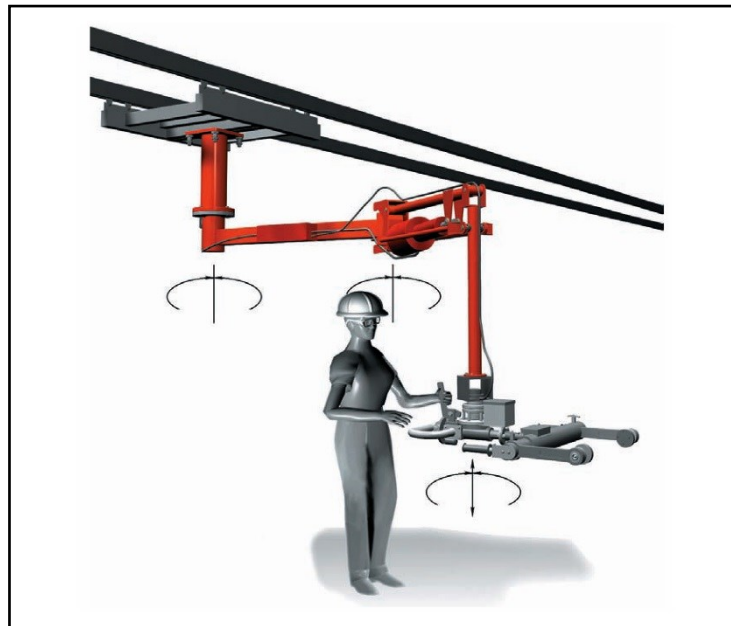


Abb. 9: Darstellung eines Manipulators mit Achskennzeichnung, Quelle: Ergonomic Partners (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

3.2.2 Einlegegeräte

Um einfache, immer wiederkehrende Aufgaben und Bewegungsabläufe auszuführen werden häufig Einlegegeräte eingesetzt. Diese Geräte kommen bei der Werkstückbeladung in der Serien- und Massenproduktion zum Einsatz. Bild 10 zeigt ein Einlegegerät bei der Bestückung von Basisteilen mit Werkstücken. Die an die Aufgabenstellung optimiert angepasste Kinematik ermöglicht mit diesen Maschinen sehr kurze Taktzeiten, daraus ergeben sich typische Anwendungsgebiete wie zum Beispiel die Be- und Entladung von Drehmaschinen und Rundschleifmaschinen sowie die Entladung von Spritzguss- und Druckgussmaschinen.¹⁷

¹⁵ Vgl. Weck (2005), S. 540.

¹⁶ Vgl. Weck (2005), S. 540.

¹⁷ Vgl. Weck (2005), S. 542.



Abb. 10: Darstellung eines Einlegegeräts mit optischer Teilerkennung, Quelle: Robini Hannover (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

Bei Einlegegeräten werden die Verläufe von Beschleunigung und Geschwindigkeit generell nicht frei programmiert, umgesetzt werden diese Weginformationen daher über mechanische Anschläge, Schaltnocken, Schalter oder Ventile. Um Änderungen im Bewegungsablauf des Einlegegerätes umzusetzen Bedarf es dabei einer physikalischen Veränderung dieser Bauteile. Eine weitere Art der Steuerung bei Einlegeräten erfolgt auch über speicherprogrammierbare Steuerungen SPS. In diesem Fall wird die Maschine von elektrischen Signalen gesteuert die einerseits von Schaltern, von Signalen der technischen Peripherie oder von fremden Steuerungen erzeugt werden.¹⁸

3.2.3 Industrieroboter

Gegenüber den beiden bereits beschriebenen Handhabungsgeräten weisen die Industrieroboter einen grundlegenden Unterschied auf. Der Vorteil dieser Maschinen ist die freie Programmierbarkeit der mindestens drei angetriebenen Bewegungsachsen. Daraus resultiert eine Änderung der Bewegungsabläufe, in Bezug auf Wege und Winkel, ohne physikalische Änderung an Bauteilen oder Komponenten des Systems durchführen zu müssen. Was wiederum zu einer universellen Einsetzbarkeit der Industrieroboter führt und diese Maschinen Handhabungs-, Fertigungs- bzw. Montagetätigkeiten ausführen lässt. Darüber hinaus können die Bewegungsabläufe der mit Werkzeugen oder Greifern bestückbaren Industrieroboter sensorgeführt sein. Universelle Einsetzbarkeit und freie Programmierbarkeit sind ausschlaggebend dafür, dass der Industrieroboter dort seine Hauptanwendung erfährt wo kürzere Produktlebenszyklen, kleinere zu fertigende Serien sowie die kostengünstige flexible Umrüstung zwischen verschiedenen Anwendungsaufgaben gefordert sind.¹⁹

¹⁸ Vgl. Weck (2005), S. 542.

¹⁹ Vgl. Weck (2005), S. 540.

3.3 Planung von Handhabungsabläufen

Die Auswahl des optimalen Handhabungsgerätes für eine spezifische industrielle Anwendung kann nur passieren, wenn die Anforderungen an das Gerät eindeutig definiert sind. Es gilt also genau festzustellen unter welchen Rahmenbedingungen welcher Job von einem Handhabungsgerät erledigt werden soll. Zu Beginn der Planungsphase sind daher folgende Fragen unternehmensintern zu klären:

- Wird es in absehbarer Zeit zu Veränderungen im betrachteten Prozess kommen, die technische Änderungen notwendig machen, oder ist dieser technologische Prozess verbindlich?
- Sind bereits alle Möglichkeiten ausgenutzt worden die zu einer Vereinfachung des Prozesses führen? Wichtig bei diesem Punkt ist, dass bei dem Prozess vor der Planung von Automatisierungsmaßnahmen das Potenzial der Vereinfachung bestmöglich ausgeschöpft wurde.
- Sind am Markt bereits Lösungen für diese Art von industriellen Aufgabenstellungen erhältlich, und sind diese darüber hinaus auch erprobt?²⁰

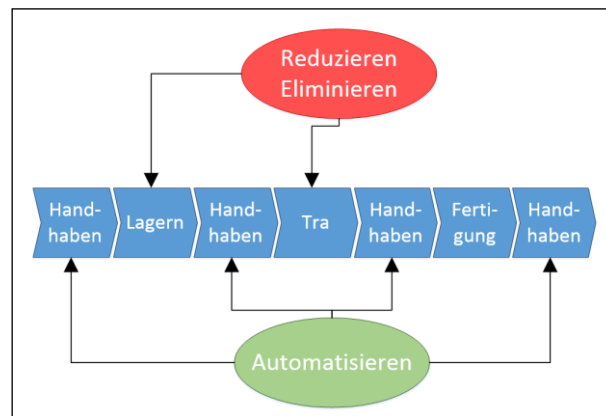


Abb. 11: Anzustrebende Ziele bei der Handhabung von Material im Prozessablauf, Quelle: Hesse (2008), S. 8 (leicht modifiziert).

Die erarbeiteten und auszuführenden Maßnahmen für die Umsetzung der Automatisierung sind an verschiedenen Stellen der Prozesse erforderlich, wie Abbildung 11 zeigt, daher ist bereits in der Planungsphase zu definieren welcher Automatisierungsgrad aus wirtschaftlicher und technischer Sicht sinnvoll ist. Der Automatisierungsgrad ist in der Fachliteratur definiert als das Verhältnis der Anzahl der automatisiert ausgeführten Funktionen, wobei alle Füge-, Handhabungs-, Kontroll-, Justier- und Sonderfunktionen erfasst werden, zur Menge der gesamten Funktionen.²¹ Meistens ist bei der Automatisierung von Fertigungsprozessen die Verkettung von einzelnen Arbeitsschritten zu gesamten Prozesssystemen notwendig und erwünscht. Soll diese Automatisierung der Werkzeughandhabung mit einem Industrieroboter umgesetzt werden steht im Vordergrund der Planung das mindestens zu erreichende Bewegungsvermögen des Roboters. Um die Qualitätsanforderungen bei komplexen Werkzeughandhabevorgängen, wie zum Beispiel das maschinelle Sandstrahlen als Vorbereitung für ein Oberflächenveredelungsverfahren, zu erfüllen, müssen folgende Punkte berücksichtigt werden²²:

²⁰ Vgl. Hesse (1996), S. 7.

²¹ Vgl. Hesse (2008), S. 20.

²² Vgl. Hesse (1996), S. 8.

- *Welche Systemkomponenten sind notwendig (Bewegungsachsen, Sensoren, Steuerungsart)*
- *Welche Peripherie wird gebraucht? (Zuführsysteme, Magazine, Spanneinrichtungen)*
- *Welche Funktionsabläufe sind prinzipiell zu bewältigen? (Automatik, Teach-In)*
- *Welche Bedien- und Anzeigenelemente müssen vorhanden sein? (HMI)*
- *Zu welchen Störungen kann es beim zu automatisierenden Prozess kommen?*
- *Wie sollen diese Störungen angezeigt und abgearbeitet werden?*

Geht es bei der geplanten Automatisierung um eine Werkstückhandhabung steht die informationelle und materielle Verkettung von den vorhandenen Betriebsmitteln und dem angedachten Robotersystem im Vordergrund.²³

3.4 Industrierobotersysteme und Arbeitsumgebungen

Ursprünglich kamen Industrieroboter in der Automobilindustrie für Punktschweißvorgänge zur Anwendung. Bereits 1969 wurden 75% aller Schweißarbeiten an der Karosserie von Robotern übernommen. In einer Stunde schaffte ein Roboter 60 Karosserien zu schweißen, wobei ein PKW von ungefähr 5000 Schweißpunkten zusammengehalten wird. Mittlerweile kommen die Robotersysteme bereits mit Sensoren ausgestattet zum Einsatz, die feststellen welcher Karosserietyp als nächster mit dem entsprechenden Schweißprogramm zu bearbeiten ist. Mit der Integration von Robotern konnten Mitarbeiter aus gefährlichen Umgebungen genommen werden, Schweißgeräte konnten eingespart werden und Produktionsflächen optimiert und reduziert werden. Im Wesentlichen kann man die Industrieroboter entsprechend ihrem Anwendungsgebiet einteilen in Roboter mit Punkt- oder Bahnsteuerung bzw. in Roboter zur Werkstück- oder Werkzeughandhabung. Roboter mit Punktsteuerung werden in den häufigsten Anwendungsfällen für die Werkstückhandhabung eingesetzt und auch für einige ausgewählte Werkzeuganwendungen, wie zum Beispiel die Bohrbearbeitung. Im Vergleich dazu kommen Bahnsteuerungen meisten für die Werkzeughandhabung zum Einsatz, wie zum Beispiel beim Auftragen von Klebern. Im Folgenden werden die Industrieroboter nach ihren Arbeitsumgebungen eingeteilt in:²⁴

Roboter im Industrieinsatz mittels Werkzeughandhabung

Bei der Werkzeughandhabung verrichten die Roboter Haupttätigkeiten im Sinne von gezieltem Einwirken auf ein Werkstück mit dessen unmittelbarer Veränderung als Folge, zum Beispiel das Entgraten eines Bauteils. Der Roboter erledigt somit eine wertschaffende Tätigkeit, nicht wie bei der Werkstückbeladung von Maschinen bei der der Industrieroboter nur Hilfstätigkeiten erledigt. Typische Anwendungen für Werkzeughandhabung die in diesen Bereich fallen sind zum Beispiel Montieren, Schweißen, Beschichten, Kleben, Schleifen, Entgraten, Polieren, Prüfen, Messen und Kontrollieren. Typische Anwendungen für die Werkstückhandhabung sind das Beschicken von Maschinen oder Anlagen, das Entladen dieser Systeme, sowie das Kommissionieren und Lagern von Bauteilen und Waren. Roboter werden auch für spezielle Anwendungen herangezogen wie zum Beispiel Roboter die das Zerlegen von Atomkraftwerken²⁵

²³ Vgl. Hesse (1996), S. 8.

²⁴ Vgl. Hesse (1996), S. 21.

²⁵ Vgl. Hesse (1996), S. 21 ff.

übernehmen, oder welchen die im Weltraum Erkundungen durchführen, Roboter die verseuchte Gebiete durchsuchen oder welche die Einsätze in der Tiefsee durchführen.²⁶

- *Roboter im Industrieinsatz mittels Werkstückhandhabung*

Zu Beginn der Roboterentwicklung kamen Industrieroboter nicht zur Handhabung von Werkzeugen zum Einsatz sondern vielmehr zum Führen von Werkstücken. Das Entnehmen von Gussteilen aus der Spritzdruckguss-Form war eine der ersten industriellen Anwendungen von Industrierobotern. Heutzutage zählen zu den gängigen Anwendungen für einen Industrieroboter zum Beispiel das Beschicken oder Entladen von Maschinen, oder das Kommissionieren oder Lagern von Ware.²⁷

- *Roboter außerhalb der Industrie*

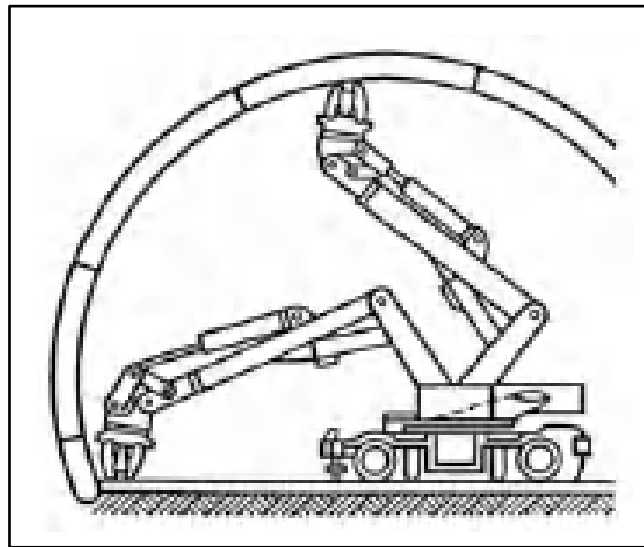


Abb. 12: Roboter beim Einsatz im Tunnelbau, Quelle: Hesse (1996), S. 36.

Die Industrierobotik ist zwar der wichtigste Teil der Robotik aber nicht der einzige. Roboter kommen auch außerhalb der Industrie zum Einsatz, wie zum Beispiel im Bauwesen im Tunnelbau, wie Abbildung 12 zeigt, oder bei der Beobachtung von nicht begehbaren Abwasserkanälen. In der Landwirtschaft kommen Industrieroboter immer öfter zum Melken von Weidevieh oder zum Pflanzen und Ernten von Saatgut zum Einsatz. Darüber hinaus gibt es noch eine Reihe an Anwendungsfällen in den Bereichen Medizin, Raumfahrt und immer verstärkter am Dienstleistungssektor.²⁸

3.5 Komponenten eines Robotersystems

Industrieroboter können nicht nur durch das Anwendungsgebiet eingeteilt bzw. voneinander abgegrenzt werden, sondern auch durch die typischen Bauteile bzw. Komponenten die nahezu jeder Robotertyp enthält. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über diese Roboterkomponenten und gibt eine kurze Analyse der Merkmale und Teilfunktionen.²⁹

²⁶ Vgl. Hesse (1996), S. 21 ff.

²⁷ Vgl. Hesse (1996), S. 31.

²⁸ Vgl. Hesse (1996), S. 35 ff.

²⁹ Vgl. Hesse (1996), S. 35 ff.

Teilsystem	Merkmale und Teilfunktionen
Mechanische Struktur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aufbau aus Bewegungsteilsystemen 2. Festlegung der Freiheitsgrade und des Arbeitsraumes 3. Sicherung der Position und Orientierung der Handhabungsobjekte
Kinematik	<ol style="list-style-type: none"> 1. Räumliche Zuordnung der einzelnen Glieder von Roboterarm und Endeffektor 2. Zeitliche Zuordnung zwischen den Bewegungsachsen und der Bewegung des Effektors
Achsregelung und Antrieb	<ol style="list-style-type: none"> 1. Regelung der dynamischen Antriebsprozesse 2. Zuführen der Stellenergie zu den Antrieben der Achsen der Bewegungsteilsysteme 3. Erzeugung der Bewegung einzelner Achsen
Effektoren	<ol style="list-style-type: none"> 1. Greifen und Handhaben von Produktteilen (Fügen, Verschrauben, Prüfen, usw.) 2. Bearbeiten von Werkstücken mit Werkzeugen (Schweißen, Entgraten, Schleifen, Lackieren, etc.)
Sensoren und Sensorsysteme	<ol style="list-style-type: none"> 1. Erfassung der inneren Zustände von Manipulator und Effektor (Lage, Geschwindigkeit, Kräfte, Momente) 2. Erfassen der Zustände der Handhabungsobjekte und der Umgebung 3. Messen physikalischer Größen 4. Identifikation und Zustandsbestimmung von Werkstücken und Wechselwirkungen 5. Analyse von Situationen und Szenen der Umwelt
Steuerung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Steuerung, Überwachung von Bewegungs- und Handhabungssequenzen und Fahraufträgen 2. Synchronisation und Anpassung eines Manipulators an den Handhabungsprozess 3. Vermeidung bzw. Auflösung von Konfliktsituationen
Programmierung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Erstellung der Steuerprogramme (mit Softwaresystemen wie z.B. Compiler, Interpreter, Simulator, etc.) 2. Interaktive/automatische Planung der Roboter Aufgabe
Rechner	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ausführung der Rechenprozesse (Programmentwicklung, Sensordatenverarbeitung, Datentransformation) 2. Abwicklung der Mensch-Maschine Kommunikation 3. Globale Steuerung und Überwachung flexibler Fertigungssysteme und Maschinen (u.a. Industrieroboter)

Tab. 2: Komponenten eines Robotersystems, Quelle: Dillmann (1991), S. 22 (leicht modifiziert).

3.5.1 Kinematik

Als Zweig der Mechanik ist die Kinematik jener Bereich, der sich physikalisch gesehen mit der Bewegung von Punkten und Körpern und deren Beschreibung beschäftigt. Bei diesen Beschreibungen werden allerdings die entstehenden oder zu Grunde liegenden Kräfte nicht berücksichtigt. Betrachtet man den Greiferflansch eines Industrieroboters, so beschreibt dieser bei mindestens drei Bewegungsachsen einen Raum, den sogenannten Arbeitsraum. Die einzelnen Bewegungsbereiche der Achsen ergeben zusammen die Größe des Arbeitsraumes. Somit ist es möglich jeden Punkt in diesem Arbeitsraum vertikal anzufahren.³⁰ Der benötigte Arbeitsraum spielt bei der Auswahl eines Industrieroboters eine wesentliche Rolle und muss bei der Auswahl unbedingt berücksichtigt werden. Der Arbeitsraum lässt sich bei einem Drehgelenkroboter durch die Arbeitsfläche berechnen, welche man entsprechend der Guldinischen Regel um den definierten Drehwinkel rotieren lässt. Man benötigt dazu die kinematischen Abmessungen der einzelnen Glieder, wie zum Beispiel des Ober- bzw. Unterarms. Die kinematischen Abmessungen entsprechen den Abständen der Drehgelenksachsen. In Abbildung 13 ist Arbeitsfläche eines Drehgelenkroboters mit zwei Drehgelenken in Z-Achse schematisch dargestellt. Die Kennzeichnung A steht für den Arbeitsraum, 1 bezeichnet ein Armglied, 2 bezeichnet ein Gelenk und 3 bezeichnet die Grunddrehachse.³¹

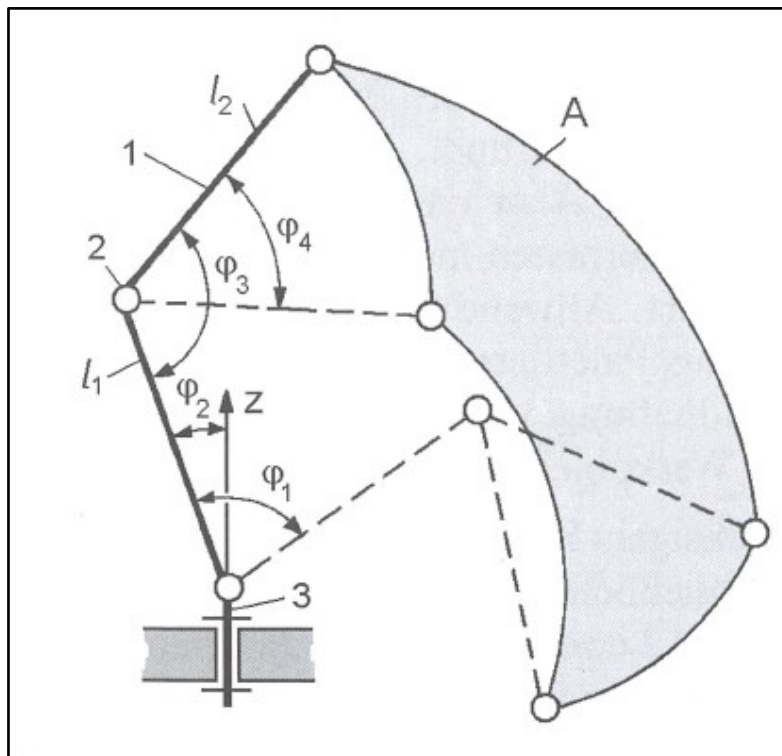


Abb. 13: Arbeitsfläche eines Drehgelenkroboters in Z-Achse, Quelle: Hesse (2010), S. 39.

Für die Struktur die in Abbildung 13 dargestellt ist, ergibt sich die entsprechende Arbeitsfläche demnach nach folgender Formel:

³⁰ Vgl. Hesse (2010), S. 38.

³¹ Vgl. Hesse (2010), S. 39.

$$A = \frac{\pi}{180} * \varphi_1 * l_1 * l_2 [\cos(\varphi_3 - \varphi_4) - \cos \varphi_3] \quad (3.1)$$

- A/mm^2 Arbeitsfläche in Z-Achse
- l_1/mm Länge Drehgelenk
- l_2/mm Länge Drehgelenk
- φ_1/rad Drehwinkel
- φ_3/rad Drehwinkel
- φ_4/rad Drehwinkel

Entgegen der Berechnung der Arbeitsfläche kann man aus einer zuvor definierten Arbeitsfläche die benötigten kinematischen Abmessungen bestimmen. Zuvor gilt es aber einen marktgängigen Industrieroboter mit geeigneter Kinematik zu definieren um den passenden Arbeitsraum abzubilden.³²

In Tabelle 3 werden nun Industrierobotertypen mit marktgängiger Kinematik aufgezählt, in Abbildung 19 werden diese am Ende des Kapitels nochmal zusammenfassend gegenübergestellt.³³

Flächenportalroboter (Cartesian Robot)
Standsäulenroboter (Cylindrical Robot)
Polarroboter (Spherical Robot)
Scara-Roboter (Scara Robot)
Gelenkarmroboter (Articulated Robot)
Parallelroboter (Parallel Robot)

Tab. 3: Robotertypen mit Konfiguration, Quelle: Eigene Darstellung.

Flächenportalroboter

Im arbeitsfreien Raum verfährt der Industrieroboter, wie in Abbildung 14 gezeigt, über den übrigen Maschinen, wobei die Bodenfläche nur minimal beansprucht wird. Dazu werden im System Linienportal- bzw. Flächenportalausführungen gebraucht. Ein wesentlicher Vorteil dieser Art von Industrierobotern ist neben des größeren Bauteilhandlings auch die Tatsache, dass diese Portale auf einfachere Weise, im direkten Vergleich zu anderen Robotertypen, vergrößert bzw. um weitere Portale erweitert werden können. Zur Anwendung kommen diese Robotertypen wie schon bereits erwähnt bei großen Baugruppenmontagen sowie bei der Beschickung von Fertigungsmaschinen und der Verkettung von Maschinen zu Arbeitslinien.³⁴

³² Vgl. Hesse (2010), S. 39.

³³ Vgl. Hesse (2010), S. 39 ff.

³⁴ Vgl. Hesse (2010), S. 40.

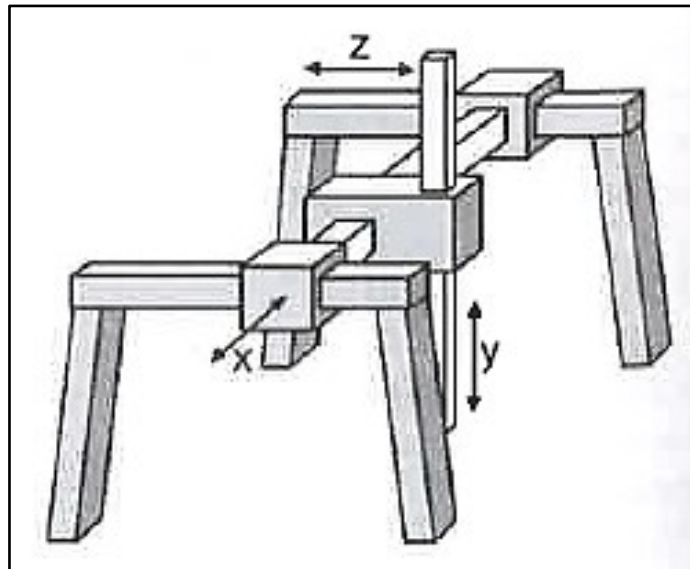


Abb. 14: Beispiel für die Ausführung eines Flächenportalroboters, Quelle: Hesse (2010), S. 310.

Gelenkarmroboter

Der Gelenkarmroboter bzw. Knickarmroboter, wie in Abbildung 15 gezeigt, ist eine häufig verwendete Roboterbauform mit hohlkugelförmigen Arbeitsraum. Bei dieser Art von Kinematik liegt eine kompakte und steife Bauweise vor, die eine hohe Beweglichkeit auf Grund der rotatorischen Achsen aufweisen kann.³⁵



Abb. 15: Beispiel für die Ausführung eines Gelenkarmroboters, Quelle: Staubli (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

Da bei dieser Roboterbauform die Anordnung der Drehgelenke jener des menschlichen Arms sehr nahe kommt, werden Roboter dieses Typs auch Universalroboter genannt. Bei einer Achsenanzahl von mindestens sechs Achsen ist das Umgreifen von Hindernissen möglich, womit diese Bauart zur flexibelsten Roboterform wird. Tabelle 4 zeigt einige Anwendungsbeispiele für Gelenkarmroboter.³⁶

³⁵ Vgl. Hesse (2010), S. 40.

³⁶ Vgl. Hesse (2010), S. 40.

Naht- bzw. Punktschweißen
Löten und Kleben
Palettieren und Kommissionieren
Montieren
Beschicken von Werkzeugmaschinen
Handhabung von Blechformteilen
Vermessung von Werkobjekten zur Qualitätssicherung

Tab. 4: Anwendungsbeispiele für Gelenkarmroboter, Quelle: Eigene Darstellung.

Nachteile dieser sechs- oder mehrartigen Universalroboter sind jedoch enorme Drehmomente, die entstehen auf Grund der Eigenmassen von Ober- bzw. Unterarm, inklusive der Greifer und der zu bewegenden Objekte. Als Lösung wird ein Masseausgleich in Form von Druckfedern oder Kolbensystemen eingesetzt.³⁷

Scara-Roboter

Die Abkürzung Scara steht im Englischen für *Selective Compliance Assembly Robot Arm* und bedeutet im Deutschen *Roboter mit beschränktem Arbeitsraum*, oder auch Schwenkarmroboter. Abbildung 16 zeigt einen Scara-Roboter des Herstellers Stäubli.³⁸



Abb. 16: Beispiel für die Ausführung eines Scara-Roboters, Quelle: Stäubli (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

Entwickelt wurde diese Roboterbauform für die Automatisierung von Kleinteilmontagen in Roboterzellen. Die Beweglichkeit bei Schwenkarmrobotern ist größtenteils auf vier Achsen beschränkt. Vorteile dieses Robotertyps sind zum Beispiel die hohe Genauigkeit des Roboters sowie die schnellen Bewegungen des Arms. Als nachteilig kann jedoch der eher kleine vertikale Hub des Roboters in Z-Achse anführen. Tabelle 5 zeigt einige Anwendungsbeispiele für Schwenkarmroboter.³⁹

³⁷ Vgl. Hesse (2010), S. 40.

³⁸ Vgl. Hesse (2010), S. 40 ff.

³⁹ Vgl. Hesse (2010), S. 40 ff.

Kleinteilemontage
Verpacken
Bestücken von Leiterplatten
Sortieren
Kleben und Abdichten
Maschinen beschicken
Stapeln und Palettieren

Tab. 5: Anwendungsbeispiele für Schwenkarmroboter, Quelle: Eigene Darstellung.

Parallelroboter

Der Name dieser Roboterbauform bezeichnet auch bereits die hauptsächliche Eigenart dieser Kinematik, nämlich, dass alle Achsantriebe aus einer Richtung und vor allem parallel zueinander wirken. Diese Bauart gewährt sehr hohe Geschwindigkeiten bei der Objektbewegung da sich das Greiferführungsgetriebe massearm ausführen lässt. In den meisten Anwendungsfällen kommen zwischen drei und sechs Achsen vor, und für eine Schrägstellung des Effektors kommen auch unterschiedliche Achsen zum Einsatz. Anwendungsbeispiele für Parallelroboter sind dargestellt in Tabelle 6:⁴⁰

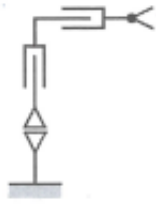
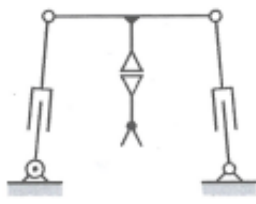
Pick and Place Anwendungen
Verpacken von Kleinteilen
Bestücken von Leiterplatten
Sortieren
Einlegearbeiten im Fließbandbetrieb

Tab. 6: Anwendungsbeispiele für Parallelroboter, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei Parallelkinematiken sind die große Starrheit gegenüber seriellen Kinematiken ein wesentlicher Vorteil, und darüber hinaus die relativ geringen Drehmomente, welche beim Halten von stationären Lasten wirken. In Tabelle 7 werden serielle und parallele Kinematik gegenübergestellt und die Vor- und Nachteile der genannten Bauformen dargestellt.⁴¹

⁴⁰ Vgl. Hesse (2010), S. 42.

⁴¹ Vgl. Hesse (2010), S. 42.

Kriterium	Serielle Struktur	Parallele Struktur
		
Struktursteifigkeit	klein	groß
Messfehler in der Struktur	addierend	mittelwertbildend
Objekt- zu Maschinenmasse	klein	groß
Trägheitskräfte	groß	klein
Arbeits- zu Bauraum	groß	klein
Beweglichkeit im Arbeitsraum	groß	eingeschränkt
Kalibration	einfach	kompliziert

Tab. 7: Gegenüberstellung von serieller und paralleler Kinematik, Quelle: Hesse (2010), S. 43.

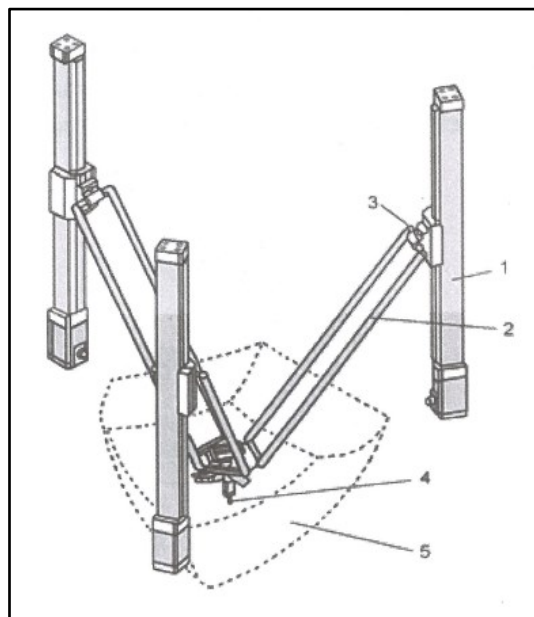


Abb. 17: Beispiel für die Ausführung eines Parallelroboters, Quelle: Hesse (2008), S. 299.

Zu Abbildung 17: 1 zeigt eine Servo-Lineareinheit, 2 zeigt eine Koppelstange, 3 zeigt ein Drehgelenk, 4 zeigt einen Endeffektor und 5 zeigt den Arbeitsraum dieser Parallelkinematik.

Pendelarmroboter

Diese Art von Industrierobotern, dargestellt in Abbildung 18, unterscheidet sich von den restlichen Typen durch die Ausführung der ersten beiden Achsen, welche hier als Kardangelenke ausgeführt sind. Diese beiden kardanischen Achsen bilden den Roboterarm, der an den sich kreuzenden Achsen aufgehängt ist. Dieser Umstand bringt dem Anwender enorme dynamische Vorteile, welche häufig bei schnellen

Montagearbeiten angewendet werden. Darüber hinaus kommt dieser Robotertyp auch bei Fügevorgängen mit hohen Einpresskräften zum Einsatz.⁴²

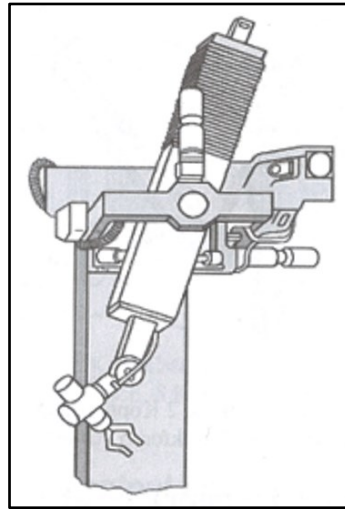


Abb. 18: Beispiel für die Ausführung eines Pendelarmroboters, Quelle: Hesse (2008), S. 300.

Wie zuvor bereits erwähnt zeigt Abbildung 19 einen Überblick über die gebräuchlichsten Robotertypen, die darüber hinaus wichtige Robotermerkmale wie Arbeitsraum, Kinematik und Handachsenvarianten angibt.⁴³

⁴² Vgl. Hesse (2010), S. 44.

⁴³ Vgl. Hesse (2010), S. 41.

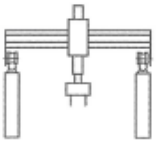
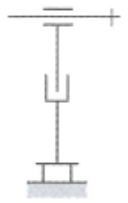
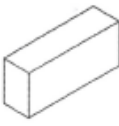


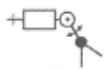
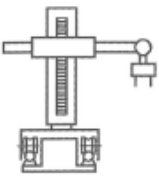
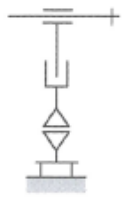




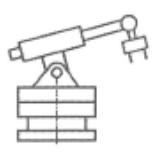





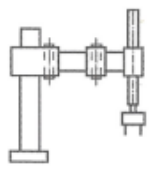
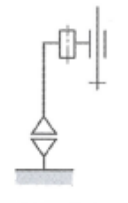




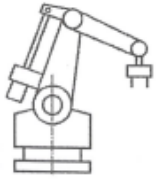
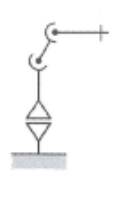




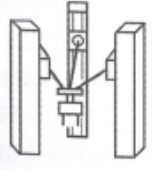
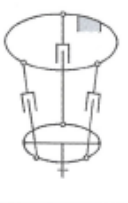

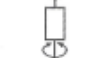

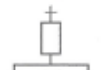
Roboterbauform	Achsen		Handachsenvarianten (1, 2, 3 Achsen)		
	Kinematik	Arbeitsraum			
					
					
					
					
					
					

Abb. 19: Marktgängige Industrierobotertypen, Quelle: Hesse (2010), S. 41.

3.5.2 Koordinatensysteme und Bezugspunkte

Um Bewegungsaktionen von Industrierobotern beschreiben zu können ist es erforderlich im Vorfeld Koordinatensysteme und Bezugspunkte zu definieren. Diese Definition dient in weiterer Folge als Grundlage für die Definition Bewegungsanweisungen im erstellten Roboterprogramm.⁴⁴

⁴⁴ Vgl. Hesse (2010), S. 164.

Mehrere hintereinander geschaltete Schiebe- und bzw. oder Drehachsen, samt ihren jeweiligen motorischen Antrieben und Steuerungen, beschreiben das Bewegungssystem eines Industrieroboters. Um korrekte Anweisungen für die entsprechenden Arbeitsorgane des Roboters geben zu können, ist es notwendig die benötigten Raumpunkte in Zielkoordinaten anzugeben.⁴⁵ Diese Zielkoordinaten, genauso wie die generelle Lage der Roboterendeffektoren oder der einzelnen Arm-Teile, werden durch kartesische Koordinatensysteme beschrieben. Dabei finde drei paarweise senkrecht aufeinander stehend gerichtete Achsen, die X-, Y- und Z-Achse, ihren Ursprung im Koordinatenursprung. Diese Achsenpaare um den Koordinatenursprung bilden das kartesische Koordinatensystem bei dem die Rechtsschrauben- oder Rechte-Hand-Regel gilt.⁴⁶ Die Rechtsschraubenregel ist in Abbildung 20 dargestellt, wobei Daumen, Zeige- und Mittelfinger die 3 Achsen symbolisieren. Die Drehung um eine Achse, und somit Orientierung, wird dargestellt als Drehung entlang der zur Faust geformten Fingern mit dem ausgestreckten Daumen als Drehachse.⁴⁷

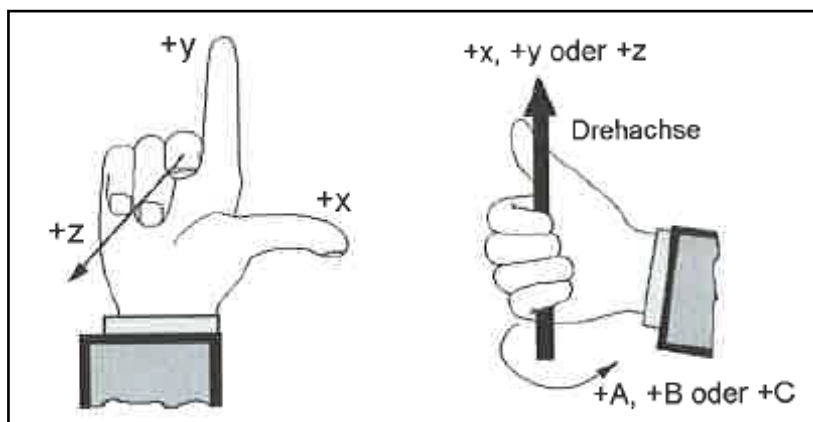


Abb. 20: Darstellung der Rechte-Hand-Regel, Quelle: Hesse (2010), S. 164.

In Abbildung 21 wird die Einteilung der Koordinatensysteme eines Industrieroboters dargestellt, im Weiteren werden die einzelnen Systeme noch genauer beschrieben.

⁴⁵ Vgl. Hesse (1996), S. 60.

⁴⁶ Vgl. Weber (2009), S. 26.

⁴⁷ Vgl. Hesse (2010), S. 164.

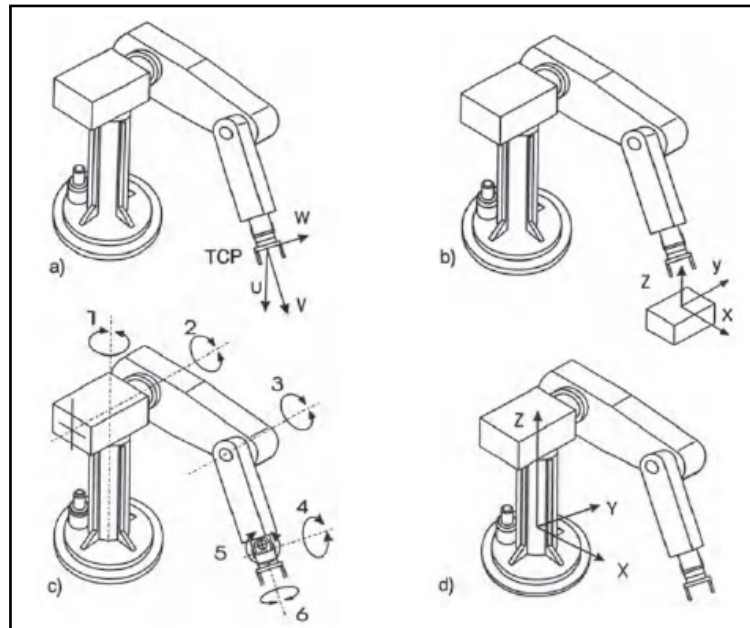


Abb. 21: Roboter Koordinatensysteme, Quelle: Hesse (1996), S. 61.

a) Werkzeug-Koordinatensystem oder Greifer-Koordinatensystem

Das Werkzeug-Koordinatensystem wird als Hilfskoordinatensystem in den Endeffektor bzw. in den Werkzeugarbeitspunkt TCP gelegt. Fällt der Ursprung dieses Koordinatensystems in den Handgelenksflansch des Industrieroboters so spricht man in der Technik auch von einem Flansch-Koordinatensystem, wie Abbildung 22 zeigt.⁴⁸

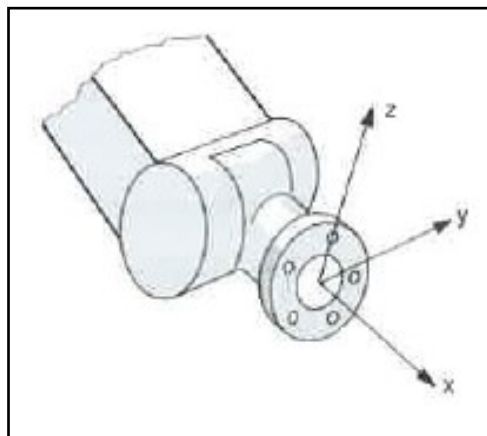


Abb. 22: Flansch-Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 166.

Dieses Hilfskoordinatensystem ermöglicht es dem Bediener bzw. Programmierer beliebige geometrische Transformationen, wie zum Beispiel Verdrehungen oder Verschiebungen, relativ einfach zu beschreiben und mit dem Roboter zu erreichen. Darüber hinaus kann auch noch ein weiteres System angegeben werden, und zwar gibt es für mögliche am Handgelenk vorkommende Sensoren üblicherweise ein Sensor-Koordinatensystem.⁴⁹

⁴⁸ Vgl. Hesse (2010), S. 166.

⁴⁹ Vgl. Hesse (2010), S. 167.

b) Werkobjekt-Koordinatensystem oder Anwender-Koordinatensystem

In den meisten Fällen dieser Anwendungen ist es vom Bediener bzw. Programmierer notwendig weitere Anwenderkoordinatensysteme für zum Beispiel Werkstücke, Werkstückmagazine oder Spannmittel zu definieren. Diese zusätzlichen Koordinatensysteme unterstützen die Flexibilität eines Industrieroboterprogramms, wie in Abbildung 23 dargestellt wird.⁵⁰

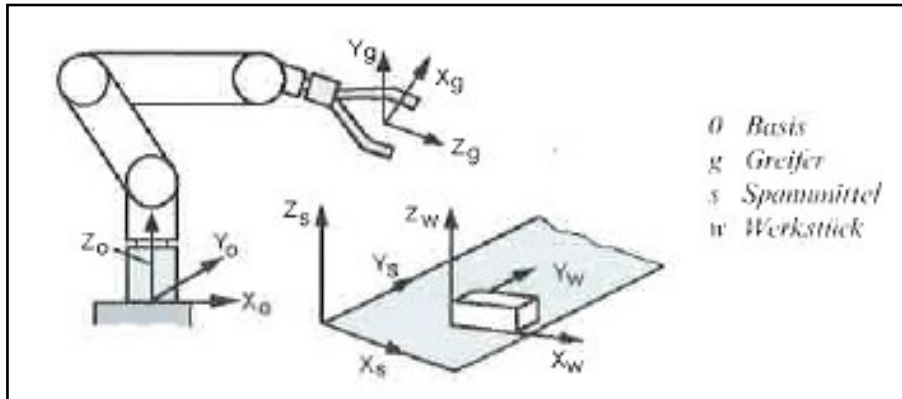


Abb. 23: Flansch-Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 167.

c) Gelenk-Koordinaten oder Achs-Koordinaten

In der Robotertechnik werden die Bewegungen zu jedem Robotergelenk einzeln angegeben. Dies geschieht immer durch Angabe der Stellung eines Armsegments in Referenz zum vorangegangenen Armsegment. Der Werkzeugarbeitspunkt TCP ergibt sich dann in weiterer Folge als Funktion der aufeinanderfolgenden Winkel wie Abbildung 24 zeigt.⁵¹

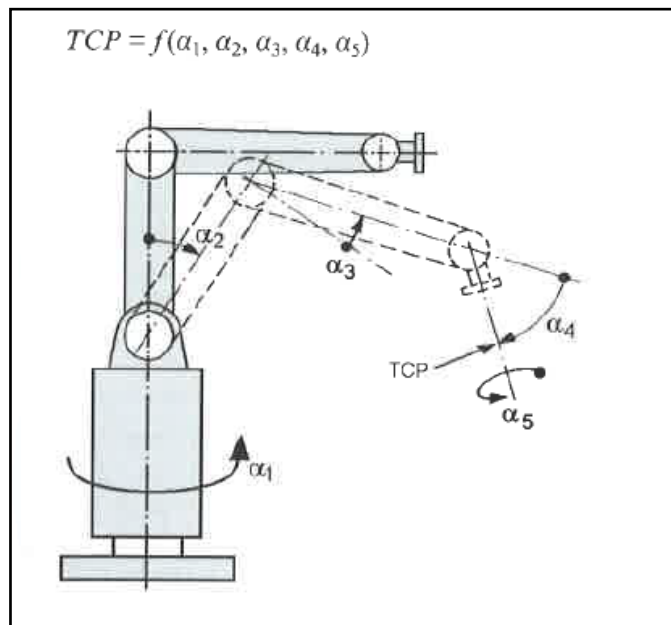


Abb. 24: Achsspezifisches Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 165.

⁵⁰ Vgl. Hesse (2010), S. 167.

⁵¹ Vgl. Hesse (2010), S. 164 ff.

d) Welt-Koordinatensystem

Das Welt-Koordinatensystem spielt vor allem bei der Interaktion verschiedener Robotersysteme eine Rolle. Es ist fix mit der Welt bzw. mit dem Raum verbunden. Die Bewegungen der einzelnen Robotersysteme können allgemein im Welt-Koordinatensystem beschrieben werden, somit können alle Systeme darauf referenzieren und ihre Koordinaten in Welt-Koordinaten angeben. Die Steuerungen übernehmen die Umrechnungen der jeweiligen Roboterbahnen in das eigene Koordinatensystem.⁵²

d) Basis-Koordinatensystem oder Raum-Koordinatensystem

Dieses Koordinatensystem findet seinen Ursprung in den meisten Anwendungsfällen im Fußpunkt des Roboters, das heißt, es liegt in der Aufstellfläche, der X-Y-Ebene, des Industrieroboters. Besteht das System nur aus einem Industrieroboter so ist das Basis-Koordinatensystem relativ zum Welt-Koordinatensystem definiert und oftmals mit diesem identisch. Die Z-Achse dieses Koordinatensystems steht senkrecht zur Aufstellfläche bzw. zur Deckenbefestigungsfläche. Abbildung 25 zeigt wie sich der Werkzeugarbeitspunkt TCP ergibt.⁵³

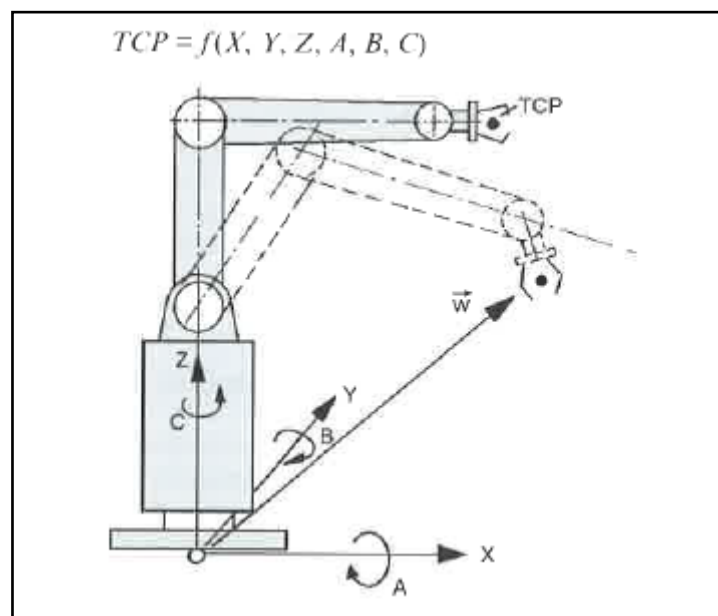


Abb. 25: Basis-Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 166.

Wichtige Bezugspunkte für die Steuerung eines Industrieroboters:

Referenzpunkt

Dieser Punkt ist wichtig da Industrieroboter kein absolutes Wegmesssystem mit fixem Nullpunkt besitzen und somit deren inkrementelle Geber nur relative Positionen zu einem vorher festgelegten Bezugspunkt, dem sogenannten Referenzpunkt, angeben können. Daraus resultiert, dass der Industrieroboter nach jedem Ausschaltvorgang neu referenzieren muss, das heißt, er fährt mit definierter Geschwindigkeit diesen Referenzpunkt an um weiter inkrementell zu berechnen können.⁵⁴

⁵² Vgl. Hesse (2010), S. 165.

⁵³ Vgl. Hesse (2010), S. 165 ff.

⁵⁴ Vgl. Hesse (2010), S. 167.

Koordinaten-Nullpunkt

Dieser Punkt beschreibt den Ursprung eines Koordinatensystems und ist zum Beispiel der Fußpunkt eines stationär aufgestellten Industrieroboters als Ursprung des Welt-Koordinatensystems.⁵⁵

Werkzeugarbeitspunkt TCP

Der TCP ist der Arbeitspunkt am Ende eines Manipulatorarmes, und wird auch Wirk-, Werkzeugreferenz- oder Werkzeugwirkpunkt genannt. Der TCP liegt bei einem Parallelgreifer zum Beispiel in der Mitte des Greiferpaares, oder an der Elektrodenspitze bei einem Schweißwerkzeug. Die vom Programmierer festgelegten Roboter-Bewegungsbahnen beziehen sich immer auf diesen Punkt.⁵⁶

Werkzeugkorrektur

Bei der Programmierung von Bewegungsbahnen bezieht sich der Programmierer zunächst auf den Endpunkt der kinematischen Kette, also auf die Mitte Greiferanschlussflansches mit dem Flansch-Koordinatensystem. Die folgende Abweichung von diesem Punkt zum Werkzeugarbeitspunkt muss der Steuerung mitgeteilt werden, und Programmierer tun dies in Form einer Werkzeugkorrektur. Diese Werkzeugkorrektur wurde von Werkzeugmaschinen abgeleitet. Abbildung 26 zeigt die schematische Darstellung der Werkzeugkorrektur.⁵⁷

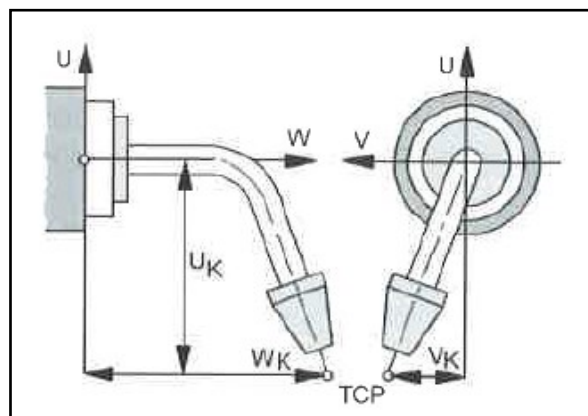


Abb. 26: Werkzeugkorrektur, Quelle: Hesse (2010), S. 168.

Wird am Roboterarm das Werkzeug, zum Beispiel durch ein Werkzeugwechselsystem getauscht, so wird von der Robotersteuerung der neue dazugehörige Datensatz für das neue Werkzeug aufgerufen. Ein Werkzeugwechselsystem mit unterschiedlichen Werkzeugarbeitspunkten ist in Abbildung 27 gezeigt.⁵⁸

⁵⁵ Vgl. Hesse (2010), S. 167.

⁵⁶ Vgl. Hesse (2010), S. 167 ff.

⁵⁷ Vgl. Hesse (2010), S. 168.

⁵⁸ Vgl. Hesse (2010), S. 169.

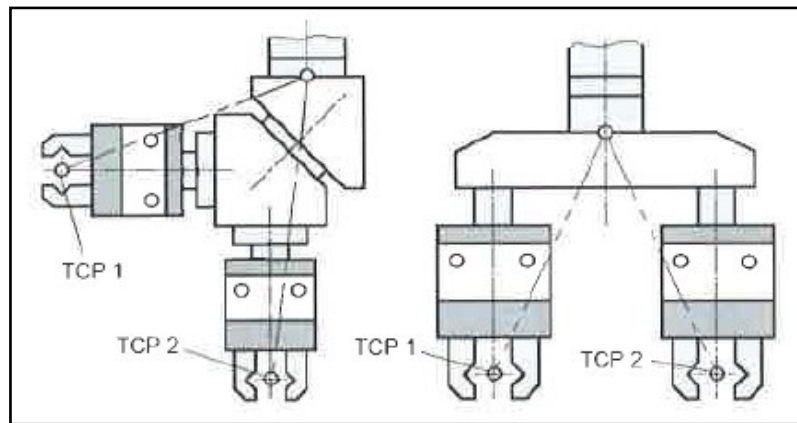


Abb. 27: Flansch-Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 169.

3.5.3 Kenngrößen von Industrierobotern

Der Wert eines Industrieroboters im anwendungstechnischen Sinn ist definiert über spezifische Kenngrößen bzw. Kennwerte. In diesem Kapitel werden typische Kenngrößen für Roboter analysiert.

Freiheitsgrad

Der Freiheitsgrad ist eine Bezeichnung für die Anzahl von möglichen Drehungen und Schiebungen eines Objektes, im Speziellen von Handhabungsobjekten. Bei eben diesen Handhabungsobjekten sind maximal 6 Freiheitsgrade möglich, 3 Freiheitsgrade für Schiebungen in X-, Y-, und Z-Richtung und 3 für die Drehungen A, B und C um diese genannten translatorischen Achsen. Abbildung 28 zeigt die schematische Darstellung dieses Freiheitsgrades. Übertragen auf das Führungsgetriebe eines Industrieroboters spricht man vom Getriebefreiheitsgrad F, dieser ist also die Gesamtheit der gesteuerten Bewegungsachsen. Dieser Getriebefreiheitsgrad wird auch als Laufgrad eines Industrieroboters bezeichnet. Dieser kann, wie schon in Kapitel 16 beschrieben auch größer als 6 sein. Darüber hinaus gilt, dass das Schließen eines Robotergrifers, falls vorhanden, nicht als Freiheitsgrad gilt da das Öffnen und Schließen des Robotergrifers nicht zur Erweiterung der Bewegungsfreiheit führt.⁵⁹

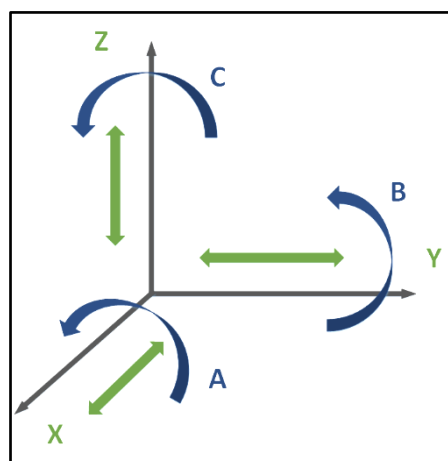


Abb. 28: Schematische Darstellung der möglichen Freiheitsgrade, Quelle: In Anlehnung an Hesse (2008), S. 65.

⁵⁹ Vgl. Hesse (1996), S. 63.

Tragfähigkeit

Unter der Tragfähigkeit eines Industrieroboters versteht man die höchst zulässige Masse eines Handhabungsobjektes, also die Nutzlast, die ein Roboter im Stande ist aufzunehmen. Dabei darf der zulässige Betriebsbereich jedoch nicht überschritten werden. Die Angaben können sich einerseits auf die Schnittstelle Anschlussflansch/Greifer beziehen, dabei spricht man dann von der Nennlast, oder sie beziehen sich auf die Greifertragfähigkeit, die Nutzlast des Systems. Diese Nutzlast kann in den meisten Fällen leicht erhöht werden, wenn man im Gegenzug Reduktionen bei den Maximalgeschwindigkeiten in Kauf nimmt. In Abbildung 29 werden die Zusammenhänge der Angaben von Nutzlast und Nennlast schematisch dargestellt.⁶⁰

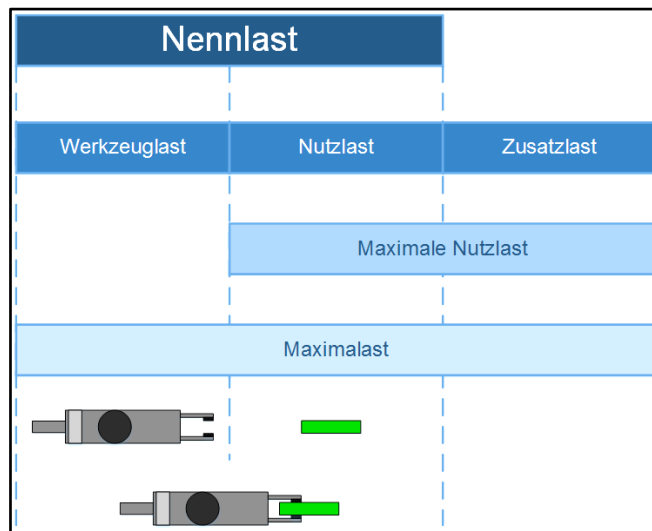


Abb. 29: Schematische Darstellung der zulässigen Lasten, Quelle: Hesse (1996), S. 65 (leicht modifiziert).

Positioniergenauigkeit

Mit der Positioniergenauigkeit wird angegeben mit welcher Genauigkeit ein Zielpunkt angefahren werden kann. Dies ist die größte Abweichung des Roboters von seiner Soll-Lage beim Anfahren eines numerisch programmierten Punktes, also das Delta zwischen Istposition und Sollposition. Es wird auch von einer Positionsabweichung gesprochen.⁶¹

Ermittlung der Positionsabweichung beim Anfahren eines numerisch programmierten Punktes:

Beim Anfahren dieses Punktes wird in der Endlage Folge Abweichung in den 3 kartesischen Achsen X, Y, und Z festgestellt:⁶²

Abweichung in X-Richtung = 0,38 mm

Abweichung in Y-Richtung = 0,19 mm

Abweichung in Z-Richtung = 0,27 mm⁶³

⁶⁰ Vgl. Hesse (2010), S. 64.

⁶¹ Vgl. Hesse (2010), S. 65.

⁶² Vgl. Hesse (2010), S. 65.

⁶³ Vgl. Hesse (2010), S. 65.

Zieht man im Anschluss die Wurzel aus den addierten Quadraten der erhaltenen Abweichungen in den entsprechenden Achsen so erhält man die Positionsabweichung für den angefahrenen Punkt.⁶⁴

$$a = \sqrt{(0,38^2 + 0,19^2 + 0,27^2)} = 0,5 \quad (3.2) \quad a/\text{mm} \quad \text{Positionsabweichung im Raum}$$

Nach der Vorgehensweise in der ISO 9283 soll diese Position unter exakt gleichen Betriebsbedingungen mindestens 30 mal angefahren werden und mit den erhaltenen Abweichungen ein Mittelwert gebildet werden um eine genaue Aussage über die Positioniergenauigkeit machen zu können.⁶⁵

Ursachen für Abweichung von angefahrenen Punkten:

Wesentliche Einflussfaktoren auf die Abweichung bei der Positionierung von Robotern können zum Einen Greiferverlagerungen durch Einwirken statischer Kräfte, durch zum Beispiel hantieren von verschiedenen schweren Werkstücken, sein oder auch Spiele in den Führungen der Roboterachsen, die sich bei unterschiedlichen Stellungen des Roboterarms ergeben. Kennt man diese Verlagerungen ist es bei Bedarf möglich diese durch Änderung der Sollwerte zu berücksichtigen. Moderne Robotersteuerungen besitzen bereits die technischen Voraussetzungen für eine automatische Berechnung dieser Verlagerungen.⁶⁶

Wiederholgenauigkeit

Die Wiederholgenauigkeit gibt bei Industrierobotern an wie groß der gemittelte Abstand zwischen definierten Punkten ist wenn diese Ziel- bzw. Sollpunkte in mehreren Versuchen vom Roboter angefahren werden. Man spricht hier also vom durchschnittlichen Abstand dieser angefahrenen Sollpunkte untereinander.⁶⁷

Wege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen

Weitere Kenngrößen zu Differenzierung von Industrierobotern neben den bereits erwähnten sind Angaben zu den maximalen Wegen, den maximalen Geschwindigkeiten und den maximalen Beschleunigungen je Roboterachse.⁶⁸

3.5.4 Programmierung und Steuerung

Programmierung und Steuerung

Betrachtet man CNC-Programme von Werkzeugmaschinen so liegt es am Facharbeiter vorgegebene Bewegungsaufgaben in Bewegungssequenzen zu zerlegen und diese unter der Zuhilfenahme von geeigneten Programmerroutinen und Methoden in einem zusammenhängenden Programm zu vereinen. Genauso läuft auch das Programmierschema bei Industrierobotern ab. Wo hingegen man bei der Programmierung von Werkzeugmaschinen zum größten Teil nur Positionen zu berücksichtigen hat, und nur in Ausnahmefällen, wie zum Beispiel bei der Nacharbeit von bestehenden Gewinden, eine Spindelorientierung miteinbeziehen muss, so spielt bei der Roboterprogrammierung auch die Endeffektor-

⁶⁴ Vgl. Hesse (1996), S. 65.

⁶⁵ Vgl. Hesse (1996), S. 65.

⁶⁶ Vgl. Hesse (1996), S. 65.

⁶⁷ Vgl. Hesse (1996), S. 65.

⁶⁸ Vgl. Hesse (2010), S. 30.

Orientierung eine wichtige Rolle. Um eben diese eingangs erwähnten Bewegungsaufgaben umzusetzen stehen diverse Programmiermethoden zur Verfügung. Ist an diesem Bewegungsablauf eine Änderung vorzunehmen wird das Programm angepasst, und bei völligen neuen Bewegungen wird ein neues Programm erstellt oder geladen.⁶⁹

Programmier-Methoden:

Aufgeteilt werden diese Programmiermethoden in zwei wesentliche Gruppen, in die Online-Programmierung und die Offline-Programmierung.⁷⁰

Online-Programmierung:

Während dieser Art der Programmierung ist die Produktionsanlage im Stillstand da die Programmierung direkt am Roboter erfolgt, die zwei verwendeten Verfahren sind die Teach-In-Programmierung und das Playback-Verfahren. Bei der Teach-In-Variante wird der Roboter mittels Handsteuerung per Bedientasten, 3D/6D-Maus oder Joystick in eine gewünschte Position. Ist die gewünschte Position unter den gewünschten Orientierungen erreicht, so wird der manuell erstellte Bewegungssatz abgespeichert und nur mehr die nötigen Zusatzanweisungen adaptiert. Bei der Playback-Variante hingegen wird vom Bediener die gewünschte Bewegung vorgemacht und von der Robotersteuerung in einem definierten Intervall von⁷¹ zum Beispiel allen 20 ms ein Positionswert gespeichert, welche in weiterer Folge als Sollwerte dienen. Der Vorteil dieser Variante liegt im Erreichen komplizierter Bewegungsaufgaben, als Nachteil kommt hingegen die äußerst schwierige Änderbarkeit von Bewegungsabläufen die auf diese Weise eingespielt wurden zum Tragen.⁷²

Offline-Programmierung:

Die Offline-Methoden teilen sich in die textuelle Programmierung und das grafisch-interaktive Verfahren auf. Die textuelle Programmierung bzw. das textbasierte Programmierverfahren werden an einem Programmierplatz vom Bediener erstellt. Dieser erforderliche Programmierplatz dient im Anschluss an die Programmierung auch für die Simulation der bereits erstellten Programme. Die erstellten Programme laufen am PC und sind somit sehr einfach und vor Ort änderbar, erstellt werden mittels Roboterprogrammiersprache in einem eigenen Editor am PC-Bildschirm. Die zweite Variante der Offline-Verfahren bildet das grafisch-interaktive Programmierverfahren, welches auf einem CAD-CAM-System basiert und einen geeigneten CAD-Arbeitsplatz notwendig macht. Das Roboterprogramm wird mit Hilfe von rechnergestützten Routinen automatisch erstellt und vollständig am Bildschirm des CAD-Arbeitsplatzes beschrieben. Im Vorhinein müssen die Komponenten der Roboterzelle, sowie relevante Umgebungseinflüsse konstruktiv und vor allem detailgetreu angelegt werden, um im Anschluss das Bewegungsprogramm mittels Bildschirmroboter zu simulieren.⁷³

⁶⁹ Vgl. Hesse (2010), S. 74.

⁷⁰ Vgl. Hesse (2010), S. 74.

⁷¹ Vgl. Hesse (2010), S. 74.

⁷² Vgl. Hesse (2010), S. 74.

⁷³ Vgl. Hesse (2010), S. 75.

Kombinations-Programmierung:

Es kommt auch häufig zur Anwendung von einer Art von Hybridprogrammierung, bei der eine Kombination aus Online-Programmierung und Offline-Programmierung stattfindet. Bei dieser Methodik kann zum Beispiel bereits im Vorfeld während der Roboter noch im Betrieb ist die Programmstruktur erstellt werden und die Peripherie konstruktiv erstellt werden, während der Roboter dann nur für das einteichen der benötigten Punkte im Stillstand steht. Dieser erhaltenen Punkte werden dann in die bereits erstellte Programmstruktur eingearbeitet.⁷⁴

Generell werden von Seiten der Anwender folgende Anforderungen an die Programmierung eines Industrieroboters gestellt: Roboterprogramme müssen leicht erstellbar, leicht anpassbar, problemlos optimierbar und schnell und einfach korrigierbar sein.⁷⁵

Programmiersprachen:

Ähnlich wie bei NC-Sprachen bei der Programmierung von Werkzeugmaschinen wird auch die Steuersprache für Handhabungsgeräte von einem Interpreter bearbeitet. Eine Roboterprogrammiersprache besteht generell aus drei wesentlichen Sprachteilen, den sogenannten Eingabe- und Ausgabeanweisungen, den Verfahrenanweisungen und den Kontrollanweisungen. Mit Hilfe dieser drei Sprachelemente lassen sich in der Praxis komplexe Handhabungsabläufe darstellen.⁷⁶

In weiterer Folge wird der Industrieroboter von einem Interpreter nach diesen Anweisungen gesteuert. In der Regel hat jeder Roboterhersteller für seine produzierten Industrieroboter eine eigene Steuerung entwickelt. Da sich die Roboterhersteller zum größten Teil auf bestimmte Felder der Industrie spezialisiert haben, wie zum Beispiel Lackierroboter oder Schweißroboter, sind die Steuerungen dieser Roboter bereits in der Basisversion mit spezifischen Anwendungen speziell für diese Anwendungen ausgestattet. Somit werden die verschiedenen Robotertypen für spezifische Applikationen flexibler. Bei Programmiersprachen für Industrieroboter wird größtenteils auf die Darstellung von Syntax verzichtet, da sie alle dem Zweck dienen die Erstellung des Steuerprogramms für spezielle Anwendungsfälle möglichst effizient zu gestalten. Eine weitere wichtige Rolle für die Anwender spielt die einfache und vor allem sichere Integration von Geräten der Roboterperipherie. Um die Industrieroboter unter den gegebenen Anforderungen in den entsprechenden Anwendungsfällen effizient einsetzen zu können, müssen die Programmiersprachen entsprechende Anforderungen erfüllen. Davon betroffen sind grundsätzlich die Bewegungssteuerung, Ein- und Ausgabe sowie die Kontrollstrukturen. Dies ist notwendig um auf Einflüsse von Seiten des Programms oder der Peripherie passend reagieren zu können.⁷⁷

Programmierhandgerät PHG:

Ein Industrieroboter wird generell über ein sogenanntes Programmierhandgerät programmiert und in weiterer Folge bedient, welches Bestandteil der Robotersteuerung ist. Das PHG wird in der Industrie auch als Programmiergerät, Teach-Box oder Teach-Pendant bezeichnet. Wird der Roboter von einer Steuerung

⁷⁴ Vgl. Hesse (2010), S. 75.

⁷⁵ Vgl. Hesse (2010), S. 75.

⁷⁶ Vgl. Hesse (2010), S. 75 ff.

⁷⁷ Vgl. Hesse (2010), S. 75 ff.

ohne PHG bedient so wird entweder mittels PC oder anderem Eingabegerät bedient. Das Handbediengerät wird, wie der Name schon verrät, in der Hand getragen und gibt dem Bediener somit einen flexiblen Aktionsbereich und die Möglichkeit die Bewegungsaufgaben bestmöglich einzusehen. Mit dem PHG kann der Roboter manuell bewegt werden, es können Punkte im Raum angefahren werden und diese gespeichert werden. Des Weiteren dient das PHG auch zur Programmierung des Industrieroboters über das Display. Mit dem PHG ist es dem Bediener nur möglich den Roboter im manuellen Betrieb mit reduzierter Geschwindigkeit zu verfahren oder manuell mit hoher Geschwindigkeit zu bewegen.⁷⁸



Abb. 30: Programmierhandgerät Stäubli SP2, Quelle: Stäubli (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

Abbildung 30 zeigt ein PHG vom Roboterhersteller Stäubli mit folgenden nummerierten Hauptfunktionsgruppen: 1. Betriebsartenwahl, 2. Farbdisplay, 3. Cursor-Tasten, 4. Bestätigungstaste, 5. Frei einstellbare Funktionstasten als Softkeys, 6. Flash-Card Slot, 7. Not-Aus-Taster, 8. Start/Stop-Taste. Über diese Tasten bzw. über den Touchscreen kann der Roboter gesteuert werden, Programme editiert werden und Parameter eingegeben werden wie zum Beispiel Werkzeuge oder Bewegungsarten.⁷⁹

3.5.5 Antriebe und Achsregelung

Zur Bewegung der einzelnen Glieder des Roboterarms, oder der Führung des Endeffektors, und deren Fortbewegung während der Bearbeitung werden Antriebe und Regelungen für die Achsen in den Roboterarm eingebaut. Die für die Bewegung benötigte Energie wird über die Antriebe auf die entsprechende Bewegungsachse übertragen, des Weiteren müssen die auftretenden Kräfte und Momente, durch zum Beispiel das Gewicht der Roboterglieder oder der Objekte am Endeffektor, kompensiert werden. Daraus resultiert, dass dem Roboterarm auch Energie zugeführt werden muss wenn er sich nicht bewegt.⁸⁰

Grundlegend unterscheidet man mit fluidischen und elektrischen zwei wesentliche Arten von Antrieben, wobei sich die fluidischen weiter in pneumatische und hydraulische Antriebe unterteilen lassen. Bei pneumatischen Antrieben spricht man in der Regel von komprimierter Luft die einen Kolben bewegt, das heißt, man kann damit kein Getriebe betreiben sondern nur Punkt-zu-Punkt-Betrieb erreichen.⁸¹

⁷⁸ Vgl. Hesse (2010), S. 76.

⁷⁹ Vgl. Hesse (2010), S. 76 ff.

⁸⁰ Vgl. Haun (2007), S. 136.

⁸¹ Vgl. Hesse (1996), S. 81.

Die Vorteile dieser pneumatischen Antriebe liegen auf alle Fälle im billigen und einfachen Aufbau der Antriebe, sowie schnelle Reaktionszeiten und der Einsatz in ungünstigen Umgebungen, wie zum Beispiel mit erhöhtem Schmutzaufkommen. Weitere Nachteile, neben der Tatsache dass eben nur Punkt-zu-Punkt-Betrieb möglich ist, sind das erhöhte Lärmaufkommen durch diese Art von Antrieben, sowie schlechte Positioniergenauigkeit und der Umstand, dass diese Antriebe nicht geeignet sind für die Steuerung der Geschwindigkeiten der Bewegungen. Pneumatische Antriebe kommen meist bei kleineren Robotern zum Einsatz wo schnelle Arbeitszyklen gefordert werden und ein geringes Kraftaufkommen herrscht, wie zum Beispiel beim Palettieren von kleineren Werkstücken. Die zweite Variante der fluidischen Antriebe, die hydraulischen Antriebe, wird im Wesentlichen umgesetzt von einer Öldruckpumpe und steuerbaren Ventilen. Damit erreicht man während dem Betrieb sehr große Kräfte bei mittleren Geschwindigkeiten, was den größten Vorteil dieser Art der Antriebe darstellt. Ebenso wie die pneumatischen Antriebe ergibt sich bei hydraulische ein relativ hohes Lärmaufkommen. Nachteilig für die Verwendung dieser Antriebe ist der enorme Platzbedarf für das gesamte Hydrauliksystem, sowie Ölverluste und Verunreinigungen. Die Ölviskosität erlaubt keine guten Reaktionszeiten woraus sich geringe Wiederhol- und Positioniergenauigkeiten ergeben. Zusammenfassend gilt, dass hydraulische Antriebe meist in großen Robotern mit großem Kraftaufwand und weniger genauen Arbeiten, wie zum Beispiel bei Schweißarbeiten, zum Einsatz kommen.⁸²

Elektrische Antriebe bzw. Antriebssysteme dem gegenüber zeichnen sich durch eine hohe Zuverlässigkeit, einem unproblematischen Anlaufen nach einem Energieausfall und einer guten Drehzahlregelung aus. Die verwendeten Motoren, wie zum Beispiel Synchron-, Asynchron-, Linear- oder Schrittmotoren, sollten möglichst nahe am Gestell des Roboters verbaut werden um nur geringe Trägheitskräfte beim Schwenken des Roboterarms auftreten zu lassen. Da die Größe des Elektromotors meist von der benötigten Beschleunigung abhängt, und nicht von der Tragkraft des Roboters, sollte die Schwungmasse, also die zu bewende Masse eher klein sein. Ein Elektromotor besteht generell aus dem Motor selbst, einer eingebauten elektromagnetischen Bremse, einem Tachogenerator für die Feststellung der Ist Drehzahl und einem, zum Beispiel als inkrementeller Winkelgeber ausgeführten, Wegmesssystem. In Abbildung 31 ist dargestellt wie ein Elektromotor in einen Lageregelkreis eingebaut ist. Im Vorfeld werden die Soll Drehzahl und die Sollposition im Programm abgebildet und definiert und während dem Betrieb mit der rückgeführten Ist Drehzahl und Istposition verglichen.⁸³

⁸² Vgl. Hesse (1996), S. 81 ff.

⁸³ Vgl. Hesse (1996), S. 81 ff.

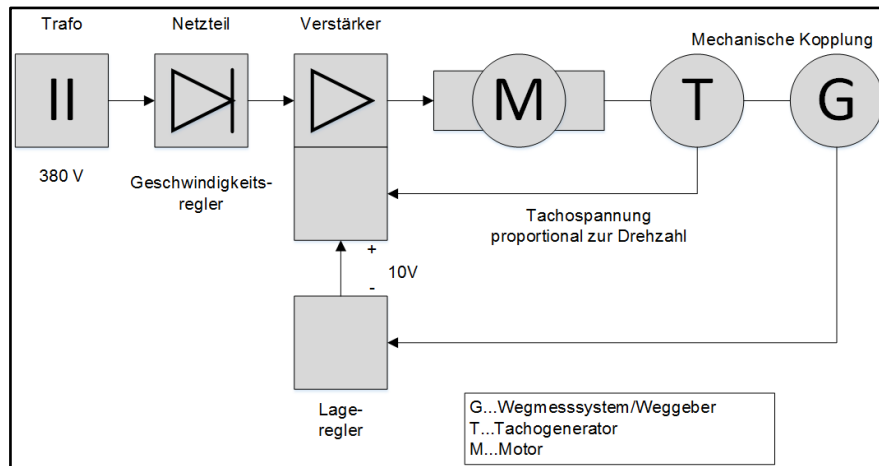


Abb. 31: Prinzip eines elektromechanischen Roboterantriebs, Quelle: Hesse (1996), S. 82 (leicht modifiziert).

Das Antriebssystem löst dann durch die sich aus dem Vergleich von Soll- und Istwerten ergebenden Differenz die entsprechenden korrigierenden Aktionen zur Gegensteuerung aus. Um diese Achs- und Antriebsregelung bei einem sechsachsigen Knickarmroboter beispielsweise umsetzen zu können benötigt man sechs elektrische Antriebseinheiten – auf jeder zu bewegenden Achse eine.⁸⁴

Generell ist es in der Robotertechnik ein erstrebenswertes Ziel die Führungsgetriebe des Roboterarms direkt anzutreiben. Direkt antreiben heißt in diesem Kontext, dass sich zwischen Motoren und den zu bewegenden Gliedern des Roboterarms keinerlei Getriebe befinden. Das hat den Vorteil, dass folgende unerwünschte Effekte vermieden werden:⁸⁵

- *Getriebespiele durch mechanische Bauweise*
- *Umkehrspannen bei Drehrichtungswechseln*
- *Mögliche Getriebeverluste*
- *Zusätzliche Trägheitsmomente*
- *Diverse Übertragungsfehler*

Umgesetzt kann dieser direkte Antrieb in der Robotertechnik von fluidischen Antrieben und speziell ausgelegten elektrischen Motoren werden.⁸⁶

3.5.6 Mechanische Peripherie

Die mechanische Peripherie von Einlegegeräten und Industrierobotern beinhalten neben den Greifern und Werkzeugen auch Umgebungseinrichtungen des Robotersystems. Solche Umgebungseinrichtungen sind zum Beispiel Ordnungs- und Vereinzelungseinrichtungen, Übergabestationen für zu handhabende Werkstücke, Bearbeitungsstationen für Paletten in Materialflusssystemen sowie Vorrichtungen für zum Beispiel Schweißarbeiten.⁸⁷

⁸⁴ Vgl. Hesse (1996), S. 82.

⁸⁵ Vgl. Hesse (1996), S. 84.

⁸⁶ Vgl. Hesse (1996), S. 84.

⁸⁷ Vgl. Weck (2005), S. 563.

Die in diesem Abschnitt beschriebene mechanische Peripherie beschränkt sich auf die sogenannten Effektoren. Alle aktiven Komponenten die an einem Handhabungsobjekt etwas bewirken, also mit ihren Aktionen einen Effekt hervorrufen, bezeichnet man in der Robotertechnik als Effektoren. Hierzu zählen Greifer und Werkzeuge, sowie Mess- und Prüfmittel die vom Roboter geführt werden können. Eine Querverbindung zur menschlichen Anatomie zeigt die Tatsache, dass man in der Biologie den sogenannten Erfolgsapparat mit Muskeln und Drüsen ebenso als Effektor bezeichnet. Es gilt also, dass Effektoren Arbeitsorgane eines Industrieroboters sind. Die Gestaltung der mechanischen Peripherie und der gesamte Umfang dieser Einrichtungen hängen in erster Linie stark vom Bedarf des jeweiligen Einzelfalls ab. Anwendungsübergreifend kann man davon reden, dass in Roboterprojekten die Investitionskosten für Peripherieeinrichtungen den Anschaffungswert des Industrieroboters durchaus übersteigen können.⁸⁸

3.5.6.1 Greifer

Am Ende einer offenen kinematischen Kette steht in der Regel ein Greifer. Diese Greifer interagieren mit Werkstücken, mit der Systemperipherie und in häufigen Anwendungsfällen mit Spannstellen, bei denen der Roboter mit Be- und Entladung eingreift. Der Greifer als Teilsystem sichert Position und Orientierung beim Aufnehmen und während des Ablegens.⁸⁹ Es gibt eine Vielzahl an Standardgreifern mit unterschiedlichen Backenhüben. In speziellen Anwendungsfällen müssen die Greifer in Form und Hub aber an die Anforderungen angepasst werden. Die Greifer werden üblicherweise nach der Greifkrafterzeugung in fünf Gruppen unterteilt:⁹⁰

Mechanische Greifer, wie zum Beispiel Finger-, Backen- oder Zangengreifer

Druckluftgreifer wie, zum Beispiel Beugefinger-, Loch- oder Zapfengreifer

Saugluftgreifer

Magnetgreifer

Adhäsivgreifer⁹¹

Eine schematische Darstellung der Einteilung der Greifertypen nach deren Wirkungsprinzip zeigt Abbildung 32. Das Bild zeigt eine Auswahl an den in der Industrie am häufigsten eingesetzten Endeffektoren.⁹²







Wirkprinzip	mechanisch		pneumatisch		elektromagnetisch	formschlüssig
Ausführung	Winkelgreifer	Parallelbackengreifer	Saugpipette	Flächensauggreifer	Magnetgreifer	Nadelgreifer
Arbeitsprinzip						
Haltekraft	hoch	(sehr)hoch	gering	mittel	mittel	gering

Abb. 32: Wichtige Greifertypen von Industrierobotern, Quelle: Hesse (2010), S. 104.

⁸⁸ Vgl. Weck (2005), S. 563.

⁸⁹ Vgl. Hesse (2010), S. 90.

⁹⁰ Vgl. Hesse (1996), S. 106.

⁹¹ Vgl. Hesse (1996), S. 106.

⁹² Vgl. Hesse (2010), S. 104.

Anforderungen an einen Greifer in Bezug auf den Einsatz an einem Industrieroboter sind demnach die folgenden:⁹³

Das vorübergehende Aufrechterhalten einer definierten Zuordnung von Werkstück und Greifer bezogen auf die Greiferachse.⁹⁴ Die Greiferachse, oder auch Greiferkoordinatenachse, ist ein Koordinatensystem welches den Koordinatenursprung im Tool Center Point eingerichtet hat. Mit diesem System lässt sich die Orientierung des Greifers eindeutig beschreiben. Im Bild 33 ist die schematische Darstellung eines Greifers mit drei translatorischen und drei rotatorischen Freiheitsgraden beschrieben. Das Greiferkoordinatensystem wird auf das Flanschkoordinatensystem des Industrieroboters bezogen.⁹⁵

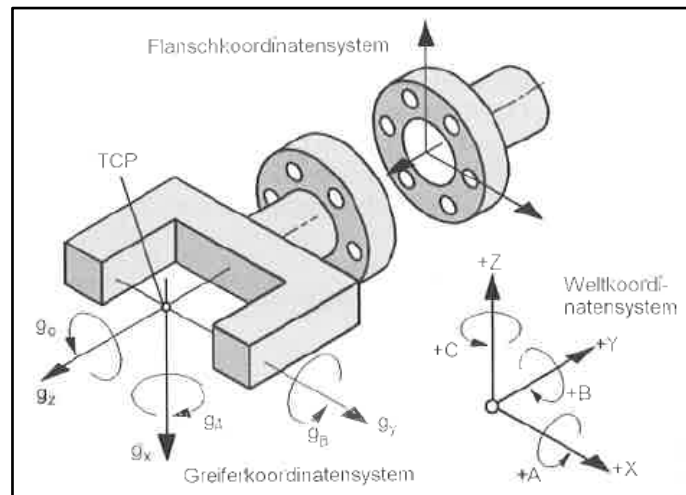


Abb. 33: Greiferkoordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 92.

Die Aufnahme von unterschiedlichen äußeren Kräften und Momenten durch die Greiferbacke, zum Beispiel beim Armschwenken, die in Verbindung mit einer Bewegung auftreten.⁹⁶ Die Greifbacke ist ein Einzelteil und Bestandteil des Greiforgans und kann bei Bedarf, zum Beispiel im Fall von Greifbacken-Verschleiß oder bei Konturänderungen am Werkstück, einfach getauscht werden. In speziellen Fällen wird bei Bedarf auch ein Reibbelag angebracht um die Haftreibung zwischen Werkstück und Greifbacke zu erhöhen. Bei Einsatz eines Greifers stellt die Greifbacke letztendlich den Kontakt zum Greifobjekt, dem Werkstück, her.⁹⁷

Darüber hinaus die Aufnahme prozessbedingt auftretender Kräfte, wie zum Beispiel die Anpresskraft beim Fügen von Werkstücken oder beim Beschicken von Anlagen.⁹⁸

Ein Greifer ist somit ein Teilsystem für sich genommen, dass mit diesen von außen einfließenden Parametern arbeiten muss. Dieses Teilsystem besteht aus den Baugruppen Greiferantrieb, Bewegungssystem, Haltesystem und Sensorik. Das sich ergebende vielfältige Sortiment an Greifern, wird von der Ausprägungsstufen der einzelnen Baugruppen erzeugt. Beim Greiferantrieb oder Antriebssystem eines Industrieroboters spricht man von jener Baugruppe welche die zugeführte elektrische oder fluidische

⁹³ Vgl. Hesse (1996), S. 107.

⁹⁴ Vgl. Hesse (1996), S. 107.

⁹⁵ Vgl. Hesse (2010), S. 92.

⁹⁶ Vgl. Hesse (2010), S. 92.

⁹⁷ Vgl. Hesse (2010), S. 91.

⁹⁸ Vgl. Hesse (2010), S. 92.

Energie in eine translatorische oder rotatorische Energie umwandelt. Das ist die Voraussetzung dafür, dass ein kinematisches System arbeiten kann. Das Bewegungssystem oder kinematische System eines Greifers ist die mechanische Einheit die die Aktionen des Greiferantriebs in eine Aktion des Haltsystems umsetzt.⁹⁹

Diese Einheit überführt also als Getriebe eine Antriebsbewegung in eine Backenbewegung mit einem definierten Übersetzungsverhältnis für Geschwindigkeiten und Kräfte. Von diesem Getriebe sind die Schnelligkeit der Backenbewegung, die Greifkraft und der Greifkraftverlauf abhängig. Das Sensorsystem eines Greifers umfasst die eingebauten Sensoren zur Positionserkennung, sowie Sensoren zur Erfassung der Annäherung an ein Objekt, die Greifkraftbestimmung sowie Winkel- und Wegmessungen. Darüber hinaus können auch Rutschbewegungen erkannt werden mit Hilfe von integrierter Sensordaten-Vorverarbeitung. Das Haltesystem des Greifers bezeichnet das Wirksystem eines Greifers. Zu diesem System gehören die Greiforgane mit den daran befestigten Greiferbacken. In der Regel werden diese Greiferbacken nicht mitgeliefert, weil sie vom Anwender selbst genau nach Werkstückform hergestellt werden.¹⁰⁰

3.5.6.2 Werkzeuge

Die Werkzeuge die bei einem Einsatz eines Industrieroboters am häufigsten zum Einsatz kommen sind in Tabelle 8 gezeigt.¹⁰¹

Punktschweißzangen	Schweißbrenner
Spritzpistolen	Klebeauftragungseinrichtungen
Schrauber	Dichtmaßeauftragungseinrichtungen
Polierwerkzeuge	Schleifwerkzeuge

Tab. 8: Werkzeuge für eine Roboteradaption, Quelle: Eigene Darstellung.

Sehr häufig kommt das Auftragen von Dichtmitteln und Klebern zur Automatisierung mittels Industrieroboters, vor allem in der Automobilindustrie bei der Bearbeitung von Windschutzscheiben. Grund dafür ist die hohe Bahngenauigkeit und die Geschwindigkeit eines Industrieroboters die sehr gut reproduzierbare Prozesse ermöglichen.¹⁰²

3.5.6.3 Sensorintegration

Da die Leistungsanforderungen an Industrieroboter vermehrt zunehmen kommt es immer mehr zur Sensorintegration in diesen Systemen. Um zum Beispiel das Greifen eines Werkstücks mit undefinierter Lage zu ermöglichen werden Kamerasysteme eingesetzt. Kraft-Momenten-Sensoren wiederum kommen zum Einsatz um die Bearbeitungs- bzw. Greifkräfte zu messen, welche dann in die Regelung der Prozesse einfließen.¹⁰³

⁹⁹ Vgl. Hesse (1996), S. 107 ff.

¹⁰⁰ Vgl. Hesse (1996), S. 107.

¹⁰¹ Vgl. Weck (2005), S. 567.

¹⁰² Vgl. Weck (2005), S. 567.

¹⁰³ Vgl. Weck (2005), S. 567 ff.

3.5.6.4 Werkzeugwechselsysteme

Das System des automatischen Werkzeugwechsels das bereits bei Werkzeugmaschinen zur Anwendung kommt, gestattet es, Greifer und Werkzeuge während des Betriebs zu wechseln. Da das Werkzeugwechselsystem über Spann- und Zentriereinheiten verfügt kann dieser Prozess des Wechsels innerhalb kürzester Zeit passieren. Über Kupplungen werden die Übertragungen von Steuerungssignalen, von elektrischer, pneumatischer oder hydraulischer Energie, sowie von Kühlwasser realisiert. ¹⁰⁴

3.5.7 Arbeitssicherheit

Im Vergleich zu anderen Fertigungsmitteln ist das Risiko eines Störfalls bei Industrierobotern relativ groß. Dies ist bedingt durch die Tatsache, dass einerseits ein hohes Gefahrenpotential für Mensch und Maschine durch das hohe Energieniveau der bewegten Massen entsteht und andererseits die Wahrscheinlichkeit eines Komponentenausfalls durch die zahlreichen Antriebs- und Messsysteme der verschiedenen Bewegungsachsen erhöht wird. Dieses Risiko kann auf unterschiedliche Art und Weise minimiert werden. Varianten für diese Risikominimierung sind die physikalische Trennung der Arbeitsräume von Mensch und Roboter im Automatikbetrieb, die Anwendung kollisionsverhütender Steuer- und Regelalgorithmen sowie die Einführung fehlertoleranter bzw. robuster Systemstrukturen. Daraus resultiert das etwa 50% der Software einer Robotersteuerung direkt oder indirekt zur Betriebssicherheit beiträgt. ¹⁰⁵

Gefahrenbereiche für das Personal

Gefährdungen für den Menschen an Industrieroboter-Arbeitsplätzen hängen ab von den Betriebszuständen des Roboters und von den Aufgaben die das Personal in seiner Umgebung auszuführen hat. Folgende Kriterien können ausschlaggebend für die Gefährdung sein: ¹⁰⁶

- *Bewegliche Mechanismen und Arbeitsteile*
- *In Bewegung befindliche Werkstücke*
- *Herabfallende und sich lösende Teile*
- *Versagen von Konstruktionselementen*
- *Quetschstellen und gefährliche Engstellen*
- *Akute Druckänderungen von Medien*
- *Scharfe Kanten und Grate*
- *Raue Oberflächen*
- *Schlechte Sichtbedingungen*¹⁰⁷

¹⁰⁴ Vgl. Weck (2005), S. 567.

¹⁰⁵ Vgl. Hesse (1996), S. 137.

¹⁰⁶ Vgl. Hesse (1996), S. 137.

¹⁰⁷ Vgl. Hesse (1996), S. 137.

Da auf Grund der Komplexität von Robotersystemen das funktionale Zusammenspiel und Verhalten für Systemfremde nicht nachvollziehbar ist treten häufig folgende Denkfehler bei den Mitarbeiter auf: ¹⁰⁸

Verharrt ein Roboter im Stillstand, dann wird angenommen, dass er sich auch in weiterer Folge nicht bewegen wird. Es kann aber sein, dass der Industrieroboter lediglich in einer definierten Warteposition verharrt. ¹⁰⁹

Die stetige Wiederholung einer bestimmten Bewegungssequenz führt das Personal zu der Vermutung, dass sich dieser Ablauf auch zukünftig dauerhaft wiederholt – das muss aber nicht der Fall sein. Bei Schweißrobotern zum Beispiel kann dieser nach einer definierten Anzahl von gleichen Bewegungsabläufen zu einer Vorrichtung für die Düsenreinigung abschwanken. ¹¹⁰

Arbeitet ein Industrieroboter langsam so wird vermutet, dass er die Arbeitsgeschwindigkeit halten wird, es kann aber passieren, dass Ventile im System nicht ordnungsgemäß arbeiten und der Roboter plötzlich die Geschwindigkeit erhöht. ¹¹¹

Wird eine gewünschte Richtung für einen Bewegungsablauf programmiert wird davon ausgegangen, dass der Roboter in diese Richtung schwenkt. Profane Programmierfehler können aber nie ganz ausgeschlossen werden, und etwas anderes bewirken. ¹¹²

Aus diesem Fehlverhalten des Personals resultieren folgende Gefährdungen: Einklemmen gegen Feststehende Elemente, Zusammenstoßen mit bewegten Teilen, Gefahren durch Roboterwerkzeuge. Generell gilt es zwischen der Gefahrenstelle und der Gefahrenquelle zu unterscheiden. Die Gefahrenstelle ist im Regelfall geometrisch exakt bestimmbar, und kann zum Beispiel der Roboterstandort sein. Anders verhält sich der Fall bei der Gefahrenquelle, diese ist nicht immer eindeutig identifizierbar. Verliert ein Roboter zum Beispiel plötzlich seine Energiezufuhr ist die Stelle an der das Werkstück fallen gelassen wird im Vorhinein nicht bekannt. Durch Analyse von Unfallvorgängen und beinahe Unfällen im Einsatz von Industrierobotern hat man folgende Unfallhäufigkeiten bezogen auf das entsprechende Personal ermittelt: ¹¹³

57% Gefährdung für Programmierer und Einrichter

26% Gefährdung für Personal zur Störungsbeseitigung

13% Gefährdung für Bediener im Normalbetrieb

*4% Gefährdung für Instandhaltungs-, Wartungs- und Reparaturpersonal*¹¹⁴

Damit ist belegt, dass ein deutliches Restrisiko für das Personal bestehen bleibt und ein teils traditionelles Sicherheitsdenken abzulehnen ist. ¹¹⁵

¹⁰⁸ Vgl. Hesse (1996), S. 137.

¹⁰⁹ Vgl. Hesse (1996), S. 137.

¹¹⁰ Vgl. Hesse (1996), S. 137.

¹¹¹ Vgl. Hesse (1996), S. 137.

¹¹² Vgl. Hesse (1996), S. 138.

¹¹³ Vgl. Hesse (1996), S. 138.

¹¹⁴ Vgl. Hesse (1996), S. 138.

¹¹⁵ Vgl. Hesse (1996), S. 138.

Vorschriften und Maßnahmen

Roboterhersteller müssen, gleich wie Inverkehrbringer technischer Anlagen welche einen Industrieroboter inkludieren, eine Reihe von Normen und Vorschriften berücksichtigen. Dies dient der Sicherheit von Mensch und Maschine, da Robotersysteme komplexe und flexible Systeme sind. Kommen beim Roboter oder der Anlage zusätzliche Applikationen zur Anwendung sind die dementsprechenden spezifischen Normen oder Sicherheitsvorschriften ebenfalls anzuwenden, wie zum Beispiel beim Robotereinsatz im Reinraum oder Robotereinsatz in Nahrungsmittelumgebung. In Tabelle 9 sind alle roboterrelevanten Normen dargestellt.¹¹⁶

Norm	Beschreibung
EN ISO 12100-1	Sicherheit von Maschinen, Terminologie
EN ISO 12100-2	Sicherheit von Maschinen, Technische Spezifikationen
EN 954-1	Sicherheit von Maschinen, Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungssystemen (Ersetzt durch EN ISO 13849-1)
EN ISO 13849-1	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze
EN ISO 13849-2	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 2: Validierung
EN 62061	Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme
IEC 61508	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme
EN 60204	Elektrische Ausrüstung von Maschinen
EN 61000-6-2	EMV, Elektromagnetische Verträglichkeit
EN 775	Bedienung von Industrierobotern, Sicherheit (Ersetzt durch EN ISO 10218-1)
IEC 60204-1	Elektrische Ausrüstung von Maschinen
IEC 60529	Schutzarten der Gehäuse
EN ISO 10218-1	Bedienung von Industrierobotern, Sicherheit
EN ISO 10218-2	Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersystem und Integration (ISO 10218-2:2008)
ISO 9787	Bedienung von Industrierobotern, mechanische Schnittstelle
ISO 9283	Industrieroboter – Leistungskenngrößen und zugehörige Prüfmethode

Tab. 9: Normen und Vorschriften für den Industrierobotereinsatz, Quelle: Hesse (2010), S. 234 ff. (leicht modifiziert).

¹¹⁶ Vgl. Hesse (2010), S. 234

4 STAND DER TECHNIK BEIM SANDSTRAHLEN

Um Verfahren der Oberflächentechnik optimal umsetzen zu können ist es notwendig die Bauteile einer Vorbehandlung bzw. Vorbearbeitung zu unterziehen. Dieses Kapitel befasst sich mit der mechanischen Vorbehandlung der betrachteten Bauteile für das anschließende Oberflächenveredelungsverfahren chemisch Vernickeln und den damit verwendeten Verfahren.

4.1 Druckluftstrahlverfahren

Die in Abbildung 34 dargestellte Einteilung der Strahlverfahren zeigt die verschiedenen Anwendungsfälle der Strahltechnik in der Industrie, welche heutzutage nicht mehr wegzudenken ist. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Verfahren sind die verwendeten Strahlmittel und die Art und Weise wie dieses Medium bewegt wird.¹¹⁷

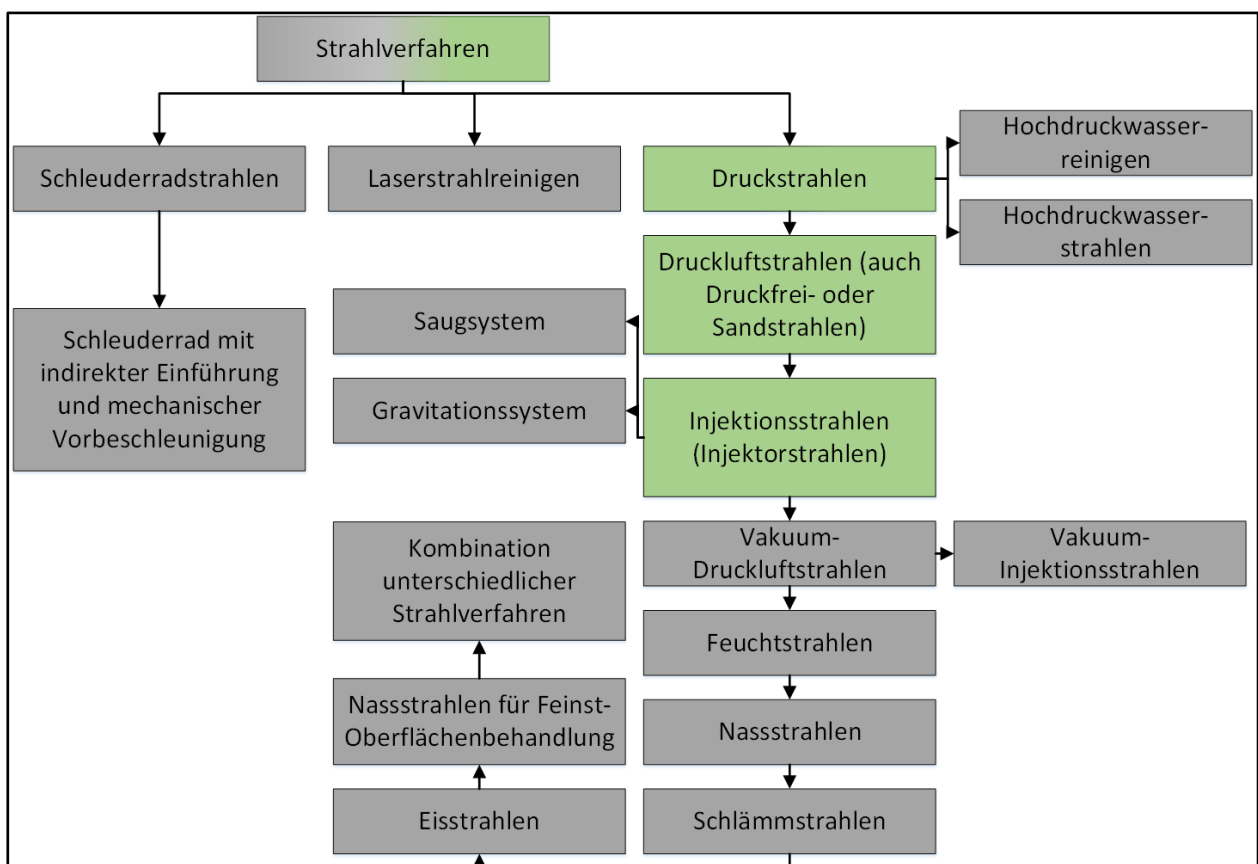


Abb. 34: Einteilung der Strahlverfahren, Quelle: Kiess (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

Das verwendete Verfahren zur Behandlung der Werkstückoberflächen in dieser Masterarbeit ist das in Abbildung 35 dargestellte Trockendruckluftstrahlverfahren. Die Düse der Anlage wird mit Druckluft gespeist, wodurch in der Düse auf Grund der Bauweise ein Unterdruck entsteht was dazu führt, dass das Strahlmedium angesaugt wird. Dieses Strahlmedium wird danach in der Düse mit der Druckluft vermischt und durch die Düsenöffnung nach außen bewegt und beschleunigt.¹¹⁸

¹¹⁷ Vgl. Kiess (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

¹¹⁸ Vgl. Beier (1999), S. 124.

Durchschnittlich ist eine Fördermenge von ungefähr 5 kg Strahlmittel pro Minute möglich, bei einer Austrittsgeschwindigkeit von ungefähr 65 Metern pro Sekunde.¹¹⁹

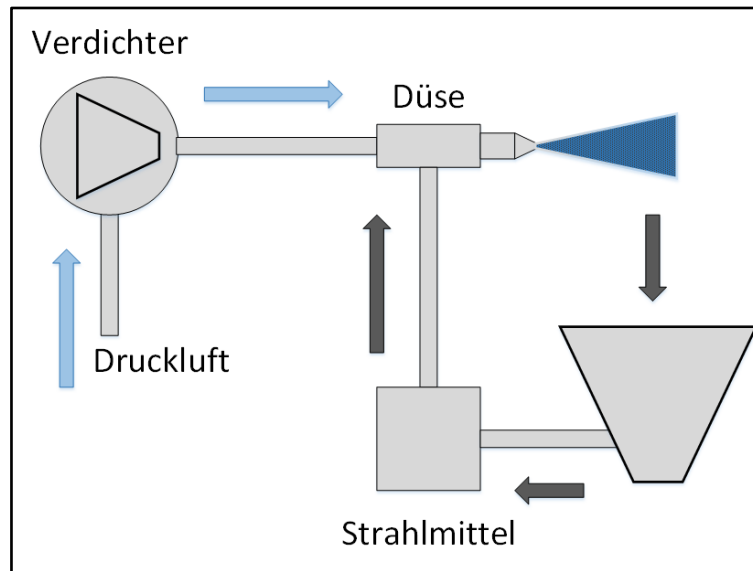


Abb. 35: Schematische Darstellung des Trockendruckluftstrahlverfahrens, Quelle: In Anlehnung an Beier (1999), S. 124.

4.1.1 Strahldüse

Dieses Kapitel befasst sich mit der Analyse der Strahldüse, mit dem Fokus auf eine beim Injektorstrahlen verwendete Strahldüse. Dieser Düsentyp, in Abbildung 36 in einer Schnittansicht dargestellt, verbindet das Venturi Prinzip und die Laval-Form der Düse. Man spricht vom Venturi Prinzip wenn sich Luft durch einen sich zur Mitte hin verengenden Luftkanal strömt der sich dann wieder auf einen größeren Durchmesser aufweitet. Die Druckluft die sich durch diese Engstelle bewegt bekommt mit zunehmender Kanalverengung, also mit zunehmenden Widerstand, ihre höchste Geschwindigkeit, bis sie an der engsten Stelle die Höchstgeschwindigkeit erreicht. Stellt sich an dieser Stelle der kritische Druck ein, erhöht sich die Geschwindigkeit bei nunmehriger Öffnung der Engstelle weiter. Das mitgeführte Strahlmittel kann auf Grund von Form und Masse die theoretischen Geschwindigkeiten nicht aufnehmen, was zu einer geringeren Ausströmgeschwindigkeit des Strahlmittels führt. Um die benötigten Austrittsgeschwindigkeiten der Strahlmittel zu erhalten, ist es notwendig die Leitung für den Strahlmitteltransport mit ausreichend Druckluft zu beaufschlagen. Die Laval-Form der Düsen ist zurückzuführen auf den Umstand, dass die optimale Düsenform theoretisch eine unendlich lange Düse ist. Lavaldüsen sind demnach lange Düsen die eine bessere Strahlleistung erzielen können als kürzere.¹²⁰

Die Strahldüse aus Abbildung 36 besteht aus der eigentlichen Strahldüse, Position 5, der Injektordüse, Position 4, der Saugleitung, Position 3, und dem Inneren des Gehäuses, Position 1. Die Druckluft, Position 2, wird mit Betriebsdruck durch die Druckluftleitung geschickt, was nach Austritt aus der Injektordüse im Inneren des Gehäuses den Venturi Effekt auslöst und einen Unterdruck im Inneren des Gehäuses erzeugt.

¹¹⁹ Vgl. Beier (1999), S. 124.

¹²⁰ Vgl. Kiess (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

Dieser Unterdruck bewirkt das Ansaugen vom Strahlmittel aus dem Vorratsbehälter über die Saugleitung. Danach verlässt das Druckluft-Strahlmittel-Gemisch die Strahldüse zur Bearbeitung am Einsatzbereich. ¹²¹

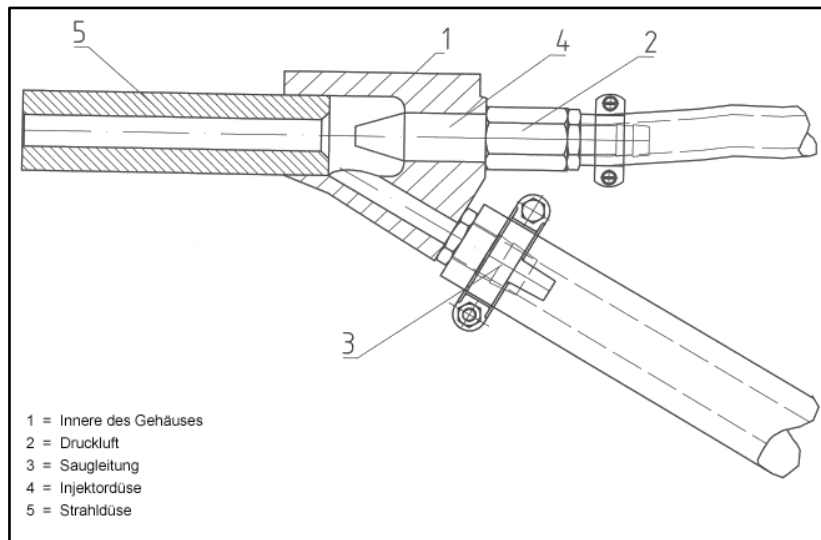


Abb. 36: Schematische Darstellung einer Düse nach dem Injektorstrahlprinzip, Quelle: Kiess (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

4.1.2 Strahlmittel

Folgende Strahlmittel werden in der Industrie verwendet:

Beim Reinigungsstrahlen, welches zum Entlacken, Entzundern, Entrosten und Entschichten von Oberflächen dient, kommen Hartguss, Korund, Steelgrit oder Steelshot zum Einsatz.

Beim Finishstrahlen, welches zum Aufrauen, Glätten, Mattieren und Seidenmattieren von Werkstückoberflächen dient, kommen als Strahlmittel Gasperlen, Korund, Keramikperlen oder Kunststoffgranulate zur Anwendung. ¹²²

Zum Verfestigen der Oberflächen durch Kugelstrahlen, auch Shot Peening genannt, kommt als Strahlmittel Steelshot zum Einsatz. ¹²³

4.1.3 Einflussfaktoren auf das Strahlergebnis

Einfluss des Düsenabstands

Kurz nach dem Verlassen der Düse hat das Strahlgut die höchste Geschwindigkeit aufgenommen. Das maximale Zeitspanvolumen des Strahlmittels wird nach einem Düsenabstand von ungefähr 50 Millimetern erreicht, dies geschieht unabhängig von der verwendeten Korngröße des Strahlguts.

¹²¹ Vgl. Kiess (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

¹²² Vgl. Strunz (2012), S. 141.

¹²³ Vgl. Strunz (2012), S. 141.

- Einfluss der Strahlmittelkonzentration

Um die entsprechenden Oberflächen wirtschaftlich zu bearbeiten ist eine bestimmte Anzahl von Strahlmittelkörnern nötig. Bei verstopften Leitungen und daraus resultierender unzureichender Zuführung kann kein optimales Zeitspanvolumen erreicht werden.

- Winkel zwischen Düsenachse und Oberfläche

Der Winkeleinfluss auf das Zeitspanvolumen an der Werkstückoberfläche ist essentiell und findet sein Maximum bei einem Winkel zwischen der Werkstückoberfläche und der Düsenachse bei ungefähr 45°.

- Luftdruck in der Düse

Der Luftdruck in der Düse hat ebenfalls massive Auswirkungen auf das Zeitspanvolumen der Sandstrahlanlage. Die Austrittsgeschwindigkeit aus der Düse, und damit verbunden die Auftreffgeschwindigkeit des Strahlguts auf der Werkstückoberfläche nimmt mit steigendem Druck im Inneren der Düse zu.

- Bearbeitungszeit

Da Zeitspanvolumen steigt auch mit zunehmender Bearbeitungszeit, ebenso wie bei einer größer werdender Körnung des Strahlmittels.¹²⁴

- Düsenstandzeit und Düsenverschleiß

Wesentlichen Einfluss auf das Zeitspanvolumen hat auch die Düsenstandzeit bzw. der Düsenverschleiß. Unter der Düsenstandzeit versteht man im betrieblichen Sinne mögliche Nutzungsdauer einer Sandstrahldüse unter gegebenen Strahlbedingungen bis sie durch Verschleiß über ein festgelegtes Maß ausgeweitet ist oder am Mantel durchbläst. Der Düsenverschleiß einer Druckluftstrahlanlage ist definiert als der Gewichtsverlust der Düse in Abhängigkeit von der Bearbeitungszeit, bzw. vom Durchsatz des Strahlmittels unter den bereits zuvor erwähnten Strahlbedingungen.¹²⁵

4.1.4 Arbeitsschutz

Arbeitsschutz

Bei Gasen oder Gasgemischen ergibt sich bei Bewegung anders als bei Feststoffen und Flüssigkeiten keine bzw. nur eine verschwindend geringe elektrostatische Aufladung. Anders verhält sich die Situation jedoch beim Transport von Feststoffpartikeln oder Flüssigkeitstropfen im Gasstrom. Dies ist beim Sandstrahlen auch der Fall, was folgende Sicherheitsmaßnahmen mit sich zieht:¹²⁶

- *Begrenzung von Strömungsgeschwindigkeiten*
- *Erdung*
- *Wahl geeigneter Stoffe (Feuerlöscher)*¹²⁷

¹²⁴ Vgl. Beier (1999), S. 124 ff.

¹²⁵ Vgl. DIN (2001), S. 55.

¹²⁶ Vgl. Schurr (2013), S. 251.

¹²⁷ Vgl. Schurr (2013), S. 251.

Ob diese Maßnahmen bei der betrachteten Anlage und den verwendeten Arbeitsmitteln durchgeführt werden müssen wird in Kapitel 4.4 durch eine Zonenerhebung nach VEXAT überprüft.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bezüglich des Arbeitsschutzes hinsichtlich des Druckluftstrahlprozesses stellt der Umgang der Mitarbeiter mit gesundheitsschädlichen Stäuben dar. Im Allgemeinen ist eine persönliche Schutzausrüstung für jeden Mitarbeiter vorgesehen, bzw. im Fall der Firma Stadler verpflichtend von den am Prozess teilnehmenden Personen zu tragen.¹²⁸

4.2 Sandstrahlen als Vorbehandlungsverfahren

Diese Vorbehandlung kann sich aus mehreren Arbeitsschritten zusammensetzen. Das Vorbehandlungsverfahren ist in erster Linie abhängig vom Grundwerkstoff und dessen Anlieferungszustand, dieser beinhaltet die Art und Stärke der Deck- und Fremdschichten sowie den Störzonen durch die Bearbeitung. Die Schichten die auf den Bauteilen zum dauerhaften Korrosions- bzw. Verschleißschutz, oder zur optischen Aufwertung, aufgetragen werden verlangen in der Regel eine sorgfältige Vor- und in manchen Fällen auch Nachbehandlung. Die Vorbearbeitung ist eine Vorbereitung des Werkstücks bzw. des Bauteils für das anschließende Aufbringen, Umwandeln oder Abtragen von Schichten durch Verfahren der Beschichtungs- und Oberflächentechnik um definierte Oberflächenstrukturen oder Oberflächenmorphologien zu erzeugen. Mit diesen Verfahren wird eine Werkstückoberfläche erschaffen die die Voraussetzung für eine hauffeste Beschichtung bzw. eine Oberflächenumwandlung ist. Ein wichtiges Kriterium für die Anwendung dieser Vorbehandlungsverfahren ist die damit entstehende Eigenschaft der Reproduzierbarkeit der Bauteiloberflächen als Ausgangsbasis für die Einhaltung einer angestrebten Oberflächenqualität. Damit nach der mechanischen Bearbeitung eventuell verbleibende Schichten auf der Metalloberfläche wie zum Beispiel Ölfilme, oder Reaktionsspuren, nicht als Trennschicht bei der Weiterbehandlung fungieren und damit die weitere Haftung der Schichten mindern werden die Bauteile einer Vorbearbeitung unterzogen. Die Wahl des Vorbehandlungsverfahrens ist abhängig vom anzuwendenden Werkstückmaterial, wie zum Beispiel Metallen, Gläsern, Keramiken, Kunststoffe, deren Verunreinigungen und der Oberflächentopographie in Bezug auf Ebenheit, Welligkeit und Rauigkeit. Der Vorbehandlung der erzeugten Bauteile kommt generell ein hoher Bedeutungsgrad während des gesamten Produktionsprozesses zu, jedoch lässt sich mit Hilfe der Verfahren zur Bewertung der Oberflächenergebnisse in den meisten Fällen nur eine „gut-schlecht“-Aussage zu.¹²⁹

¹²⁸ Vgl. Fleßmann (2002), S. 449.

¹²⁹ Vgl. Hofmann (2015), S. 30.

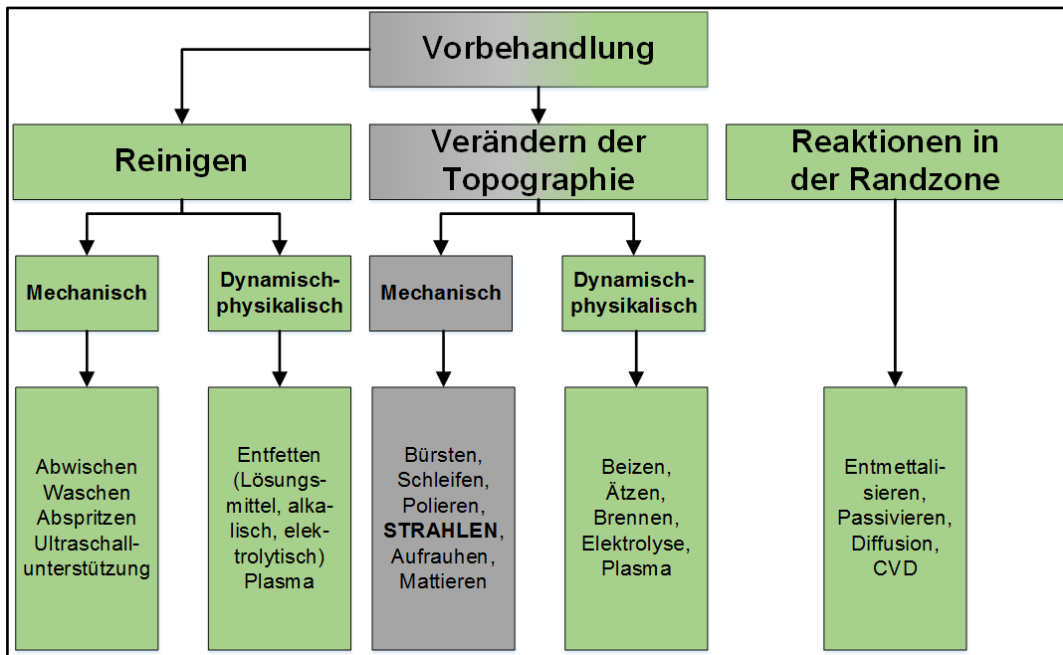


Abb. 37: Einteilung der Vorbehandlungsverfahren, Quelle: Hofmann (2015), S. 31 (leicht modifiziert).

Abbildung 37 zeigt die Einteilung der Vorbehandlungsverfahren auf Grund der mechanischen Auswirkung auf die erzeugten Bauteile, das heißt, wie das jeweilige Verfahren welche resultierende Veränderung des Oberflächenzustandes sich mit dem ausgewählten Verfahren ergeben. Des Weiteren können diese Verfahren auch in abtragende, auftragende und umwandelnde Verfahren eingeteilt werden. Eine dritte Möglichkeit zur Einteilung der Vorbehandlungsverfahren bietet Abbildung 38.¹³⁰

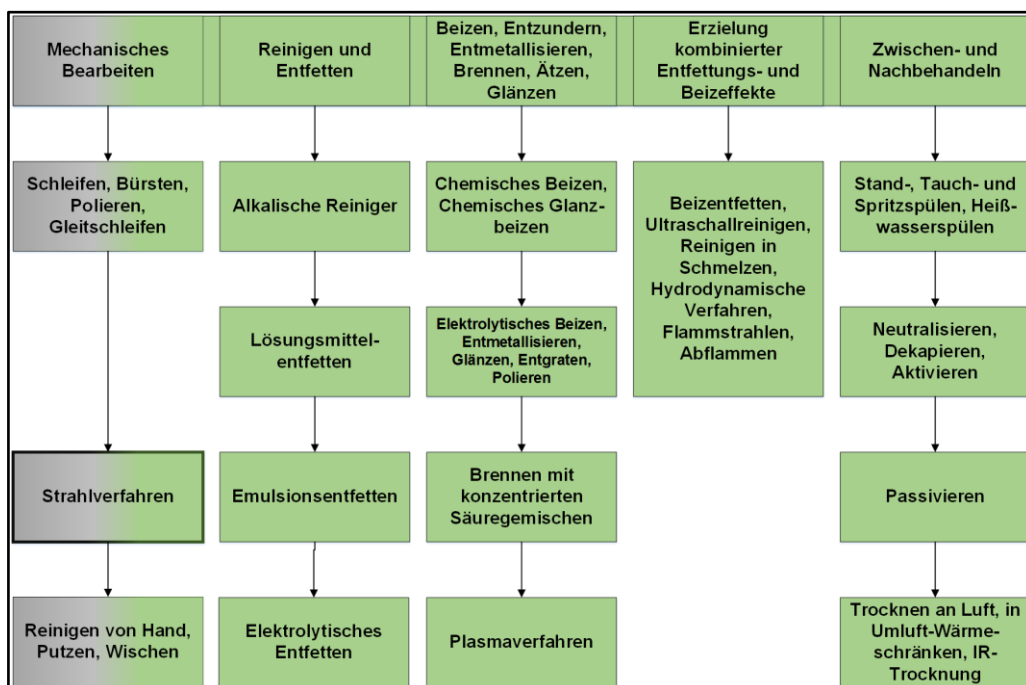


Abb. 38: Einteilung der Vorbehandlungsverfahren, Quelle: Hofmann (2015), S. 34 (leicht modifiziert).

¹³⁰ Vgl. Hofmann (2015), S. 31 ff.

Auf den zu beschichtenden Werkstückoberflächen können verschiedene Stoffe vorkommen, die aus bereits stattgefundenen Prozessschritten oder Lagertätigkeiten entstanden sind, Tabelle 10 zeigt diese Verunreinigungen.¹³¹

Deckschichten	Fremdschichten		
Arteigene Auflagen	Artfremde Auflagen		
	Durch Adsorption aus Umgebung	Konservierungsmittel	Stanz- und Ziehhilfsmittel
Rost, Zunder, Reaktionsschichten	Wasser, Staub, Schmutz, Flugasche, Materialreste	Wachse, Silikone, Öle, Fette, Überzugslacke	Schmierseifen, Emulsionen, Öle, Fette, Graphit, Molybdänisulfid

Tab. 10: Verunreinigungen von Bauteilen, Quelle: Hofmann (2015), S. 34 (leicht modifiziert).

Abschließend gilt es zu erwähnen, dass bei der Beurteilung des Ausgangszustands von Werkstückoberflächen besonders zwischen noch unbeschichteten Oberflächen und Oberflächen die bereits Schichten aus Vorprozessen besitzen, zu unterscheiden ist.¹³²

4.3 Vorbehandlung zum Sandstrahlen – Entfetten der Bauteile

Auf Grund der großen Vielzahl an Reinigungsverfahren muss das Thema Reinigung für die Oberflächentechnik auf vier wesentliche Teilgebiete eingeschränkt werden:¹³³

- *Reinigung von Werkstücken vor der Beschichtung*
- *Reinigung dieser Werkstücke während der Fertigung*
- *Reinigung dieser Werkstücke nach der Herstellung*
- *Reinigung dieser Teile vor Nachfolgeverfahren*¹³⁴

Ziel der Reinigung generell ist es die betroffenen Bauteile bzw. Werkstücke von Verschmutzungen oder Anhaftungen, auch in Folge von Verschmutzungen, zu befreien. Zu diesen Verschmutzungen bzw. Anhaftungen zählen beispielsweise Öle, Fette, Wachse, Späne Staub oder auch Sand. Für diese Reinigungsvorgänge können die unterschiedlichsten Verfahren mit den unterschiedlichsten Reinigungsmedien zur Anwendung kommen. Da in der Oberflächentechnik vorwiegend chemisch-physikalische Vorbehandlungsverfahren auf Basis von Wasser oder organischen Lösungsmitteln zum Einsatz kommen, werden diese Verfahren in dieser Arbeit vorzugsweise betrachtet.¹³⁵ Bei der Erarbeitung der Inhalte dieser Masterarbeit geht es im Wesentlichen darum die intern gefertigten Bauteile nach der Herstellung durch das Fräsverfahren bzw. vor dem Nachfolgeverfahren Sandstrahlen zu reinigen und entfetten, und darüber hinaus die Werkstücke vor der Beschichtung ebenfalls zu reinigen.

¹³¹ Vgl. Hofmann (2015), S. 34.

¹³² Vgl. Hofmann (2015), S. 34.

¹³³ Vgl. Hofmann (2015), S. 35.

¹³⁴ Vgl. Hofmann (2015), S. 35.

¹³⁵ Vgl. Hofmann (2015), S. 35.

Generell spricht man beim Entfernen von Ölen, Fetten und Wachsen auf metallischen Oberflächen vom Entfetten. Diese Öle und Fette verhindern bei der Oberflächenveredelung beim metallischen Bauteil eine Reaktion der Beschichtung mit der Oberfläche, was dazu führt, dass die Beschichtung unzureichend ausgeführt wird. Auch bei kleinsten Fetts Spuren, wie zum Beispiel durch Fingerabdrücke, sind die Bauteile einem Entfettungsprozess zuzuführen. Generell kommt bei der Herstellung metallischer Bauteile und Komponenten ein Urformprozess und ein oder mehrere Umformprozesse zur Anwendung, welche wiederum mit den verschiedensten Substanzen arbeiten, in Tabelle 11 sind einige Beispiele solcher Substanzen aufgelistet.¹³⁶

Kühlmittel auf Kohlenwasserstoffbasis, eventuell Rostschutzkomponenten
Gleitmittel auf Basis von Erdalkali- und Metallseifen
Schmiermittel auf Mineralölbasis
Festschmierstoffe
Silikonöle

Tab. 11: Beispiele für verwendete Substanzen bei Umformprozessen, Quelle: Eigene Darstellung.

In diesem betrachteten Fall handelt es sich um einen Fräsprozess mit Kühlemulsion und anschließendem Sandstrahlen mit Glasperlen als Medium zur Vorbehandlung für das externe Oberflächenbehandlungsverfahren Chemisch-Vernickeln. In Tabelle 12 sind die Verfahren die zu einer Entfettung der Bauteile und Komponenten führen aufgelistet.

Entfetten in wässrigen Lösungen
Entfetten durch Abkochen
Entfetten mit Industriereinigern
Entfetten durch Abspritzen
Elektrolytisches Entfetten
Entfetten mit organischen Lösungsmitteln

Tab. 12: Beispiele für Entfettungsverfahren, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Bauteile der Baureihe QKC werden mit Industriereinigern entfettet. Industriereiniger sind alkalische, saure oder emulgierte Reiniger die meist als zwei- bis zehnprozentige Waschlaugen zur Anwendung kommen. Nach dem Entfetten mittels Industriereiniger müssen die Bauteile und Komponenten einer gründlichen Spülung mit Wasser unterzogen werden. Wurden die Werkstücke bis zur neutralen Reaktion gespült ist eine anschließende Trocknung notwendig.¹³⁷

¹³⁶ Vgl. Hofmann (2015), S. 36.

¹³⁷ Vgl. Hofmann (2015), S. 36.

4.4 Zonenerhebung nach VEXAT

In diesem Kapitel wird der betrachtete Arbeitsraum, in welchem der analysierte Prozess Sandstrahlen durchgeführt wird, hinsichtlich einer eventuell auftretenden Explosionsgefahr beurteilt, und diese Gefahren, sofern akut vorhanden, ermittelt. Aus diesem Grund wurde für den Unternehmensbereich Sandstrahlen eine Zonenerhebung nach der Verordnung explosionsgefährdeter Atmosphären durchgeführt und ein Explosionsschutzdokument gemäß §5 erarbeitet. Für die Durchführung der Zonenerhebung wurden das technische Datenblatt der elektrischen Anlage sowie die Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Medien herangezogen.

4.4.1 Begriffsdefinitionen

Im Weiteren werden die Begriffsbestimmungen beschrieben wie sie in der 309. Verordnung explosionsgefährdeter Atmosphären – VEXAT, veröffentlicht als Bundesgesetzblatt im Juli 2004, Teil II genannt werden.

Brennbare Arbeitsstoffe

Nach § 40 Abs. 2 ASchG sind brennbare Arbeitsstoffe hochentzündliche, leicht entzündliche und entzündliche Arbeitsstoffe sowie sonstige oxidierbare Arbeitsstoffe. ¹³⁸

Normalbetrieb

Man spricht vom Normalbetrieb von Arbeitsmitteln, elektrischen Anlagen oder persönlicher Schutzausrüstung vom Zustand in dem diese innerhalb der Auslegungsparameter benutzt werden. ¹³⁹

Vorhersehbare Störung

Beschreibt den Zustand bei dem Arbeitsmitteln, elektrischen Anlagen oder persönlicher Schutzausrüstung vorhersehbar die bestimmungsgemäße Funktion nicht erbringen. ¹⁴⁰

Heißarbeiten

Sind Arbeiten mit offenen Flammen oder Arbeiten mit möglicher Funkenbildung bzw. Arbeiten bei denen ein brennbarer Arbeitsstoff auf eine Temperatur von mehr als 80% der Zündtemperatur gebracht wird. ¹⁴¹

Arbeitsmittel

Arbeitsmittel im Sinne dieser Verordnung sind Geräte oder Systeme die Potentielle Zündquellen ausweisen oder in Verbindung mit bestimmten Arbeitsvorgängen potentielle Zündquellen durch elektrostatische Entladung oder mechanische Funkenbildung darstellen können. ¹⁴²

¹³⁸ Vgl. VEXAT (2004), S. 2.

¹³⁹ Vgl. VEXAT (2004), S. 2.

¹⁴⁰ Vgl. VEXAT (2004), S. 2.

¹⁴¹ Vgl. VEXAT (2004), S. 2.

¹⁴² Vgl. VEXAT (2004), S. 2.

Explosionsfähige Atmosphären und explosionsgefährdete Bereiche

Eine Explosionsfähige Atmosphäre ist ein Gemisch aus Luft oder anderer oxidativer Atmosphären und brennbaren Medien, wie Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch übertragen kann. Explosionsgefährdete Bereiche sind all jene Bereiche in denen explosionsfähige Atmosphären in gefährdenden Mengen auftreten können. In diesem Fall werden besondere Schutzmaßnahmen für die Sicherheit der Mitarbeiter erforderlich.¹⁴³

4.4.2 Ermittlung und Beurteilung der Explosionsgefahren

Gemäß der Verordnung für explosionsfähige Atmosphären sind Arbeitgeber verpflichtet die Wahrscheinlichkeit und die Dauer des Auftretens von explosionsfähigen Atmosphären und explosionsgefährdeten Bereichen sowie die charakteristischen Eigenschaften und Kenndaten der Arbeitsstoffe zu ermitteln und beurteilen. Spezifische Gefahren solcher betroffener Umgebungen sind demnach:¹⁴⁴

- die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins, der Aktivierung und das Wirksamwerden von Zündquellen
- das Ausmaß der zu erwartenden Auswirkungen
- können Arbeitnehmer davon betroffen sein
- Arbeitsmittel inklusiver deren Sicherheits-, Regel- und Kontrollvorrichtungen
- Elektrische Anlagen und Installationen
- Bauliche und örtliche Gegebenheiten
- Angewandte Arbeitsvorgänge und deren mögliche Wechselwirkungen
- Arbeitskleidung und persönliche Schutzausrüstung
- Mögliche Explosionsgefahren in der jeweiligen Betriebsart (Normalbetrieb, vorhersehbare Störungen, Arbeiten bei Alarm oder Warnung)¹⁴⁵

Sind in einer explosionsfähigen Atmosphäre mehrere unterschiedliche Arten von brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben aktiv, so müssen die Zonenerhebung und die damit einhergehende Beurteilung der Schutzmaßnahmen auf das größtmögliche Gefährdungspotential ausgelegt sein.¹⁴⁶

4.4.3 Explosionsschutzdokument

Wie bereits im vorangegangenen Unterabschnitt erwähnt, muss der Arbeitgeber auf Basis der Ermittlung und Beurteilung von explosionsfähigen Atmosphären und explosionsgefährdeten Bereichen ein Explosionsschutzdokument erstellen und dieses nach der Erstellung ständig aktualisieren und auf dem letzten Stand halten. Das erstellte Explosionsschutzdokument muss jedenfalls Angaben enthalten über:¹⁴⁷

¹⁴³ Vgl. VEXAT (2004), S. 3.

¹⁴⁴ Vgl. VEXAT (2004), S. 3.

¹⁴⁵ Vgl. VEXAT (2004), S. 3.

¹⁴⁶ Vgl. VEXAT (2004), S. 3.

¹⁴⁷ Vgl. VEXAT (2004), S. 3.

- Die festgelegten Explosionsgefahren bei Normalbetrieb, bei vorhersehbaren Störungen, bei Instandhaltung, bei Reinigung, bei Prüfung, bei Störungsbehebung und im Falle von Arbeiten bei Alarm und Warnung
- Primäre, sekundäre und konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen zur Gefahrenvermeidung
- Eine örtliche Festlegung der explosionsgefährdeten Bereiche und eine Einstufung derer in Zonen
- Die Eignung der verwendeten Arbeitsmittel, elektrischen Anlagen, Arbeitskleidung, persönlichen Schutzausrüstung, Sicherheits-, Regel- und Kontrolleinrichtungen
- Umfang und Ergebnisse von Messungen und Prüfungen im Zusammenhang mit explosionsgefährdeten Bereichen
- Vorkehrungen und durchzuführende Maßnahmen im Falle von Warn- oder Alarmbedingungen
- Vorgehen bei Beschäftigung betriebsfremder Arbeitnehmer¹⁴⁸

Gemäß dieser Gesichtspunkte wurde vom Unternehmen Stadler im betroffenen Bereich eine Zonenerhebung nach VEXAT durchgeführt und ein Explosionsschutzdokument erstellt. Das erstellte Explosionsschutzdokuments liefert das Ergebnis, dass die Bildung von explosionsfähigen Atmosphären, und somit ein explosionsgefährdeter Bereich, ausgeschlossen werden kann und im Weiteren keine Maßnahmen im technischen und organisatorischen Sinn durchzuführen sind. Die betroffenen Mitarbeiter wurden nach der Dokumenterstellung über die Zonenerhebung und das resultierende Ergebnis in Kenntnis gesetzt.¹⁴⁹ Abbildung 39 zeigt das Dokumentenkopfbereich des erstellten Explosionsschutzdokuments und Abbildung 40 den Dokumentenfussbereich.







VEXAT Explosionsschutzdokument gemäß §5			<input type="button" value="Speichern"/>
Leerformular		MO	    
1. Angaben zur Betriebsanlage		Stand vom: <u>09.10.2012</u>	
Firmenname:	Stadler Sensorik CNC-Technik GmbH		
Ortsangaben: (Straße, Gebäude, Geschoss usw.)	Gewerbepark Süd 2, 8121 DeutscheFeistritz		
2. Beschreibung der baulichen Gegebenheiten und Anlagen			
Bezeichnung der Anlagen			
Anlagenbauer / -errichter: Ruby	Type: Sandstrahlkabine RUBY-RA36-1		
Baujahr: 2001	evtl. Absaugleistung: 400 m ³ /h		
Abmessungen: B910xT600xH580mm	GZ <u>4.1-448/08</u> vom ____ . ____ . ____		
Gewerbebehördliche Genehmigung:			
Bauliche Anforderungen der VEXAT 513:			
In der Anlage (im Bereich, Aufstellungsort) müssen Decken, Wände und Fußböden zonenkonform ausgeführt sein.			
erfüllt <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		Dokumente gemäß Punkt 9.	

Abb. 39: Vexat-Dokument Kopfbereich, Quelle: Eigene Darstellung.

¹⁴⁸ Vgl. VEXAT (2004), S. 4.

¹⁴⁹ Vgl. VEXAT (2004), S. 4.

9. Beilage	ja	Ort	Beilage	ja	Ort
1) Plan der Anlage	<input type="checkbox"/>		9) Genehmigungen	<input type="checkbox"/>	
2) Techn. Beschreibungen	<input type="checkbox"/>		10) Ex-Zonenplan	<input type="checkbox"/>	
3) Konformitätserklärungen	<input type="checkbox"/>		11) Informations- und Unterweisungsnachweise	<input type="checkbox"/>	
4) Wartungs- und Bedienungsanleitung	<input type="checkbox"/>		12) Schriftliche Anweisungen für Arbeiten	<input type="checkbox"/>	
5) Verzeichnis der gefährlichen Arbeitsstoffe gem. DOK-VO	<input type="checkbox"/>		13) Arbeitsfreigaben	<input type="checkbox"/>	
6) Arbeitsmittelliste	<input type="checkbox"/>		14) Warn- und Alarm- bedingungen (55(2)Z6)	<input type="checkbox"/>	
7) Sicherheitsdatenblätter	<input checked="" type="checkbox"/>		15) Staubdaten	<input type="checkbox"/>	
8) Prüfprotokolle	<input type="checkbox"/>				
10. Verantwortlichkeit					
Erstellt von <u>Tanja Stadler (QM)</u> am <u>09.10.2014</u>					
Beigezogene Personen:			Dem Arbeitgeber zur Kenntnis gebracht:		
Jochen Zechner, Wilfried Stadler, Gernot Goessler					

Abb. 40: Vexat-Dokument Kopfbereich, Quelle: Eigene Darstellung.

Das interne Dokument zur Erhebung nach VEXAT ist im Anhang auf den Seiten 6 bis 8 abgebildet.

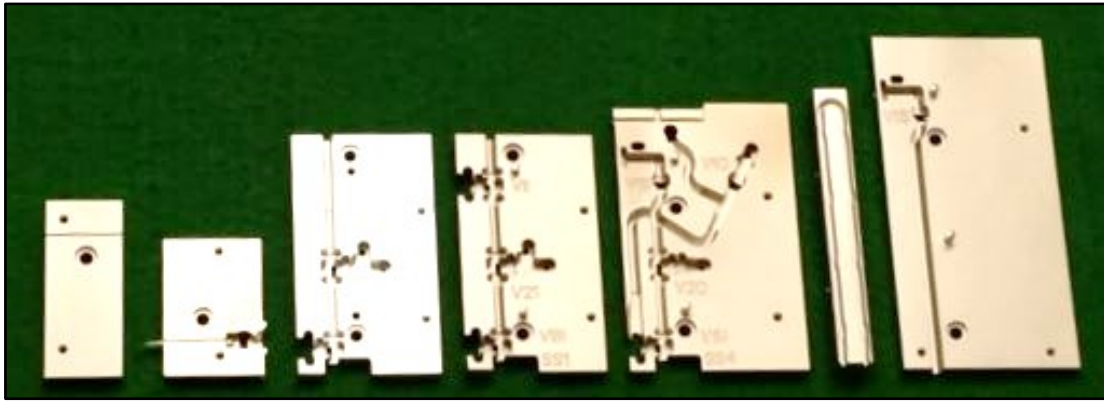


Abb. 42: Bauteile der betrachteten Bauteilreihe QKC, Quelle: Eigene Darstellung.

Der gesamte Prozess Sandstrahlen, von der Bereitstellung der intern gefertigten Frästeile bis hin zur weiteren Bereitstellung der gestrahlten Teile an die Versandabteilung, kann als kritisch bezeichnet werden. Grund dafür ist die Sensibilität der Oberfläche nach dem Strahlverfahren, da zum Einen Teile mit nichthomogenen Oberflächen wieder dem Strahlprozess zugeführt werden müssen und zum Anderen vor dem externen Beschichten nicht erkannte Oberflächenfehler zum automatischen Sperren und Ausschließen der Teile führt. Hier befindet sich allerdings auch das größte Potential zur Prozessoptimierung, daran werden sich die weiteren Untersuchungen dieser Arbeit in den nächsten Kapiteln orientieren.

5.2 Aktueller Prozessablauf und Prozessparameter

Aktuell werden die gefertigten Frästeile, in Abbildung 42 sind einige dieser Bauteile nach der mechanischen Bearbeitung Fräsen gezeigt, in der Abteilung für Endmontagen mit einer Industriespülmaschine entfettet und von Emulsion gereinigt, sowie bei Bedarf an definierten Stellen per Hand entgratet. Danach werden die Bauteile mittels Transportboxen, wie in Abbildung 43 gezeigt, an die für das Strahlverfahren zuständigen Mitarbeiter weitergegeben.

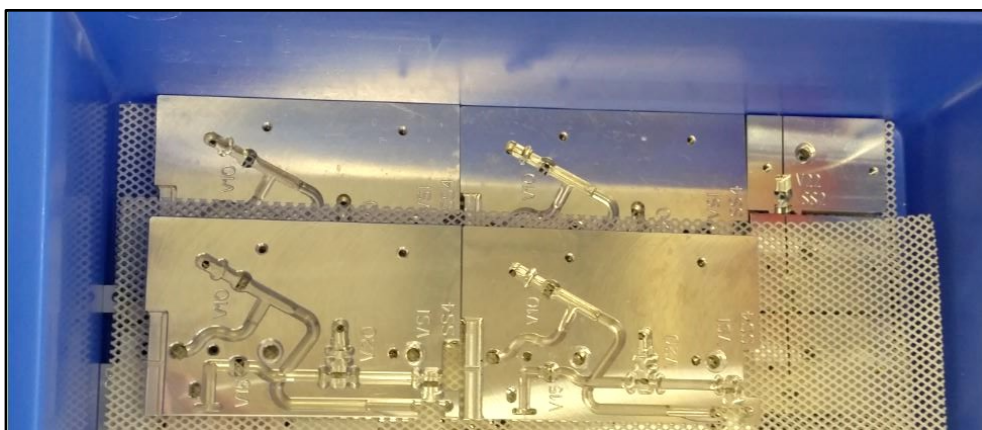


Abb. 43: Transportbox mit fertigen Frästeilen, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Einlegen der Bauteile durch diese Mitarbeiter in die Sandstrahlkabine ist der letzte Arbeitsschritt bis zur Lieferung an den Kunden bei dem die Bauteile noch ohne Schutzhandschuhe gehandhabt werden dürfen. Wie Abbildung 44 zeigt, dürfen nach dem Sandstrahlen die Bauteile aus Schutz vor Verschmutzung und Reaktionen mit der menschlichen Haut nur mehr mit Handschuhen berührt werden.



Abb. 44: Manuelle Handhabung der Bauteile nach dem Sandstrahlprozess, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Teile werden dann in der Sandstrahlkabine von geschulten Mitarbeitern unter einem definierten Betriebsdruck von 7 bar nach einer festgelegten Herstell- und Prüfvorschrift gestrahlt. Abbildung 45 zeigt das manuelle Sandstrahlverfahren.

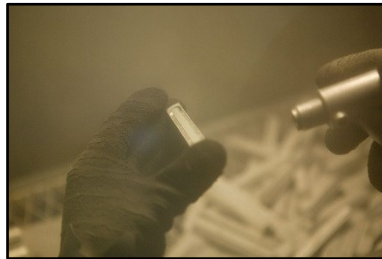


Abb. 45: Manueller Sandstrahlvorgang, Quelle: Eigene Darstellung.

Wenn das gewünschte Oberflächenbild, wie in Abbildung 46 gezeigt, erreicht ist, werden die Teile dann wie in Abbildung 47 dargestellt, auf eigene für die sensible Oberfläche ausgelegte Transportbehälter gelegt und an die Qualitätssicherung geliefert.



Abb. 46: Gewünschtes Oberflächenergebnis nach dem Sandstrahlprozess, Quelle: Eigene Darstellung.

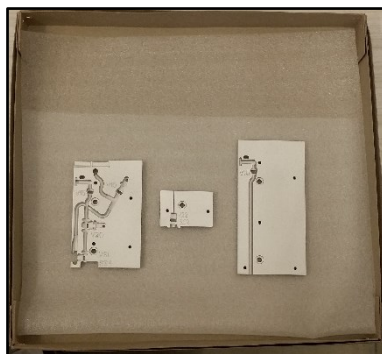


Abb. 47: Isometrische Darstellung der Baugruppe AG/AGCI-Platte, Quelle: Eigene Darstellung.

5.2.1 Prozessgruppen und Prozessablaufplan

Für die in Kapitel 6 ausgeführte Konzepterstellung wird der Prozess des Sandstrahlens in einzelne Prozessgruppen zerlegt die im Anschluss einfacher untersucht werden können. Abbildung 48 zeigt die schematische Darstellung dieser Prozessgruppen. Bei der Automatisierung dieses Prozesses wird in weiterer Folge auf die Automatisierung und somit Standardisierung der Handhabungsabläufe konzentriert, der Einfluss auf den Sandstrahlvorgang ist deswegen in Abbildung 48 mit unterbrochener Linie dargestellt, weil auch während der Bearbeitung mit dem Strahlmedium lediglich die Bewegung des Bauteils automatisiert durchgeführt werden soll.

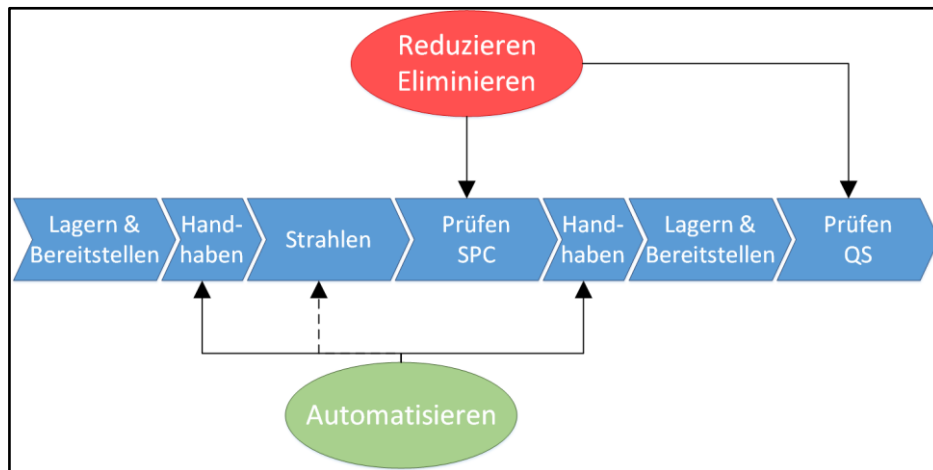


Abb. 48: Schematische Darstellung der aktuellen Prozessgruppen, Quelle: Eigene Darstellung.

In dieser Masterarbeit wird gezielt daran gearbeitet die Handhabungsabläufe durch Automatisierung mittels Industrieroboter zu automatisieren und standardisieren, was Änderungen für den Prozess und die mitarbeitenden Personen bringt. Die Prozessschritte der Materialbereitstellung müssen überarbeitet werden und Konzepte für ein geordnetes, ausgerichtetes bereitstellen der Teile sorgen. Ein erwünschter Effekt der mit einer homogenen, kontinuierlichen Werkzeugführung eines Industrieroboters zu erzielen ist, ist die Reduzierung von Prüfaufwand während dem Prozess. Ein aktueller Prozessablaufplan, mit allen relevanten Prozessschritten, Beschreibungen dieser, Verantwortlichkeiten und begleitenden Dokumenten ist in Abbildung 49 dargestellt.

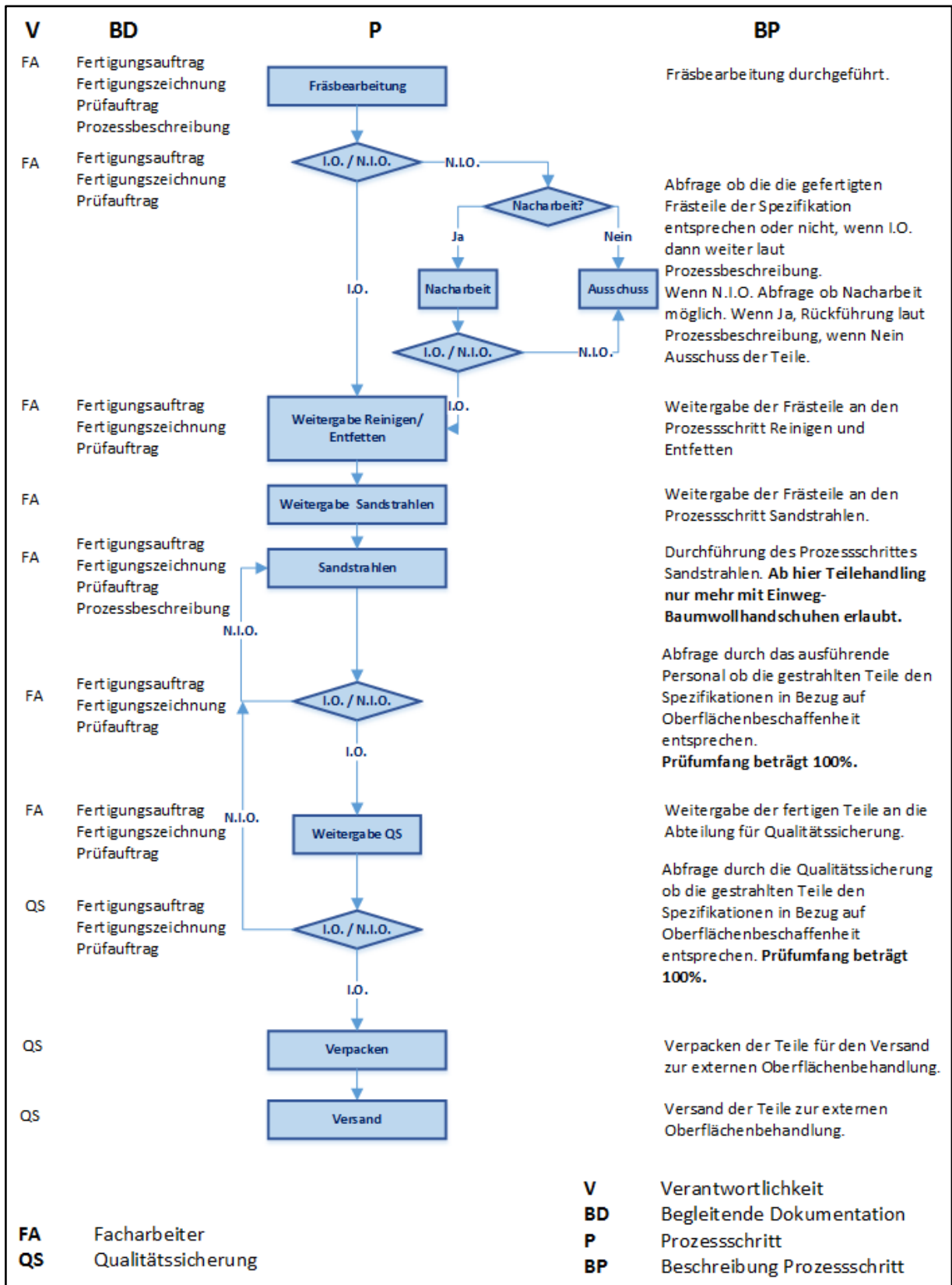


Abb. 49: Schematische Darstellung des aktuellen Prozessablaufes als Flow-Chart, Quelle: Eigene Darstellung.

5.2.2 Qualitätsmerkmale des Endprodukts

Der Qualitätsanspruch des Kunden an das Fertigprodukt ist entsprechend hoch, da das fertiggestellte Bauteil in medizinisch-technischen Geräten zum Einsatz kommt, und auch als Ersatzteil zum Tausch angeboten wird. Mehrere dieser Bauteile sind in ein und demselben Gerät verbaut, was die Tatsache begründet, warum alle Bauteile dieselben Oberflächenmerkmale hinsichtlich Farbe und Struktur aufweisen müssen. In Abbildung 50 ist ein gefertigtes Bauteil welches als Gutteil deklariert ist gezeigt.



Abb. 50: Bearbeitetes Bauteil nach dem Sandstrahlprozess, Quelle: Eigene Darstellung.

Im Falle eines Prozess-Reengineering darf es hinsichtlich dieser genannten Qualitätsmerkmale der Bauteiloberfläche keine Abweichungen zur Prozessdefinition geben, und eine Automatisierung kann nur unter Berücksichtigung dieser Aspekte durchgeführt werden.

Das Reengineering ist ein Ablauf der sich mit der Untersuchung von bereits bestehenden Prozessen beschäftigt und die Prozesse, genauso wie die Anlagen und Anlagenteile, einer neuen Betrachtung unterzieht oder an geänderte oder erneuerte Standards anpasst.¹⁵⁰

5.2.3 Durchsatzberechnung

Um zukünftig eine exakte Produktionsbedarfsplanung zu ermöglichen wird in diesem Kapitel eine Durchsatzberechnung einer Einzelteilerfertigung des aktuell implementierten Prozessbildes durchgeführt. Die Produktionsbedarfsplanung umfasst sämtliche planerischen Maßnahmen zur Herstellung von Waren oder Erbringung von Dienstleistungen. Sie beinhaltet unter anderem die Zuordnung der resultierenden Beschaffung, d.h. ob Fremdfertigung oder Eigenfertigung anliegt, die Durchlaufterminierung mit der zeitlichen Folge der internen Produktionsaufträge und die Ermittlung und Abstimmung der erforderlichen Kapazitäten, wie z.B. Werke, Maschinen, Personal, etc.¹⁵¹ Dies soll als Grundlage für eine optimale Auslegung einer Automatisierungstechniklösung dienen. Abbildung 6 zeigt das Schema eines Kennzahlensystems zur Produktionssteuerung, und wie sich die einzelnen Prozessparameter zusammensetzen und gegenseitig beeinflussen.

¹⁵⁰ Vgl. Becker (2008), S14.

¹⁵¹ Vgl. Becker (2008), S. 237.

Um eine konkrete Beurteilung der Produktivität eines Fertigungsprozesses treffen zu können, müssen die Durchlaufzeiten der Fertigungsaufträge über die gesamte Auftragsdauer gemessen bzw. berechnet werden. Über die erhaltenen Ergebnisse der Kennzahl Durchlaufzeit erhält man im Weiteren die Kennzahlen Termintreue bzw. Terminabweichung, Auftragsfortschritt oder Arbeitsplatzkapazität.

Die Berechnung der Durchlaufzeit in dieser Arbeit konzentriert sich nur auf den Fertigungsprozess *Sandstrahlen Bauteilreihe QKC* und führt dazu, dass die Übergangszeit der Prozesse, in Abbildung 6 rot markiert, vernachlässigt wird und in der Berechnung nicht berücksichtigt wird. Dies geschieht unter dem Aspekt, dass die Durchführungszeit in den meisten Fällen nur 10% oder weniger der Durchlaufzeit ausmacht und der Rest auf die Übergangszeit ausfällt. Die Übergangszeiten, wie z.B. Transportzeit, Vorliege- oder Nachliegezeit, sind aber nicht Gegenstand dieser Betrachtung und somit wird die Durchlaufzeit der Durchführungszeit gleichgesetzt.

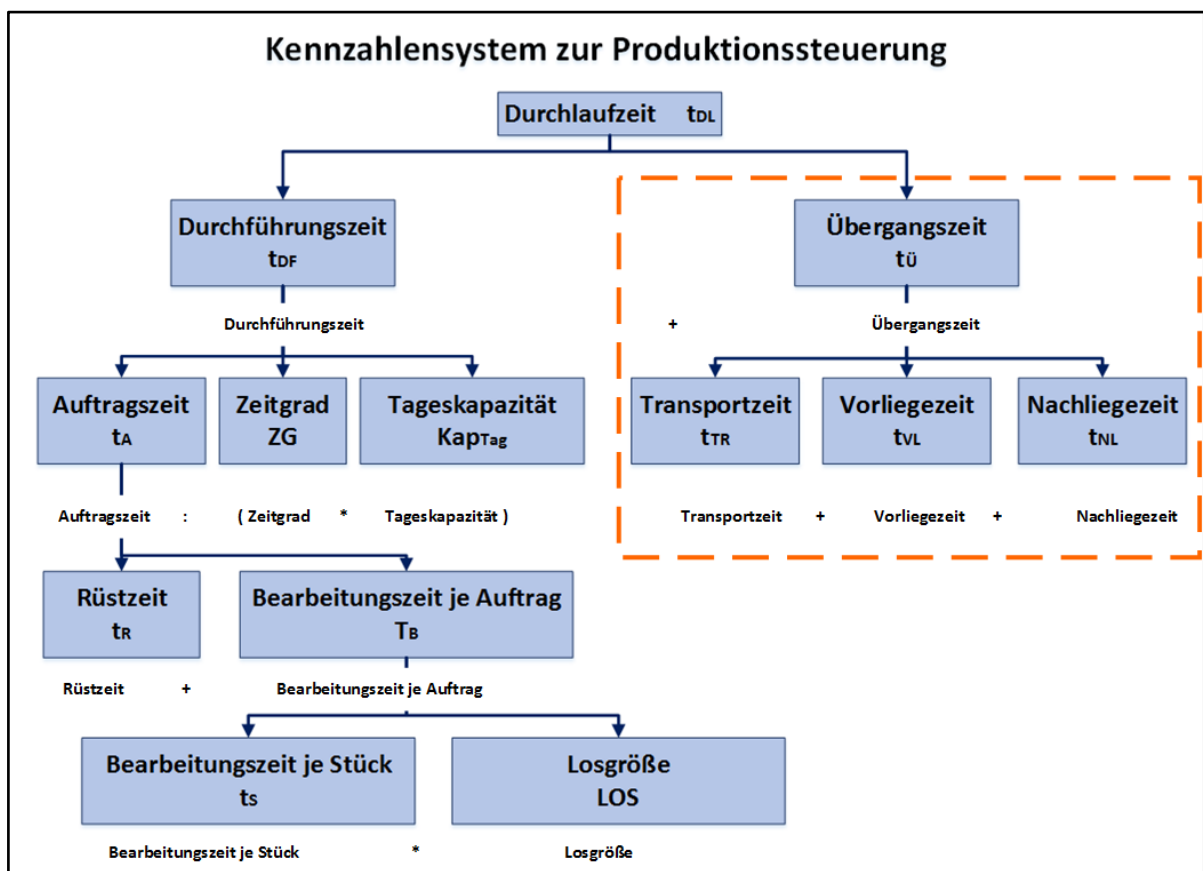


Abb. 51: Kennzahlensystem zur Produktionssteuerung, Quelle: Eigene Darstellung.

Die benötigten Zahlen für die Berechnung wurden aus dem ERP-System ausgewertet, Tabelle 12 und Abbildung 51 zeigen die Berechnungsgrundlage. Der „ERP“-Begriff ist die englische Abkürzung für Enterprise Resource Planning. Unter einem ERP-System wird allgemein eine integrierte betriebswirtschaftliche Standardsoftware verstanden. Mit ihr lassen sich betriebswirtschaftliche Aufgaben aus den verschiedensten Bereichen eines Unternehmens (z.B. Finanzwesen, Produktion, Logistik, Personalwesen) IT-gestützt bearbeiten. ¹⁵²

¹⁵² Vgl. Görtz/Martin (2007), S. 2

Zur Berechnung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit je Einzelstück wurden folgende Formeln verwendet:

$$t_{DF} = \frac{t_A}{Z_G \times Kap_{Tag}} \quad (5.1)$$

t_A/s	Auftragszeit
$Z_G/1$	Zeitgrad
$Kap_{Tag}/1$	Tageskapazität

Die Formel (5.1) dient zur Berechnung der Durchführungszeit t_{DF} .

$$t_A = t_R + t_B \quad (5.2)$$

t_R/s	Rüstzeit
t_B/s	Bearbeitungszeit je Auftrag

Die Formel (5.2) dient zur Berechnung der Auftragszeit t_A .

$$t_B = t_S \times LOS \quad (5.3)$$

t_S/s	Bearbeitungszeit je Stück
$LOS/1$	Losgröße

Die Formel (5.3) dient zur Berechnung der Bearbeitungszeit je Fertigungsauftrag t_B .

$$t_{DF, Tage} = \frac{t_{DF, Min}}{Z_G \times Kap_{Tag}} \quad (5.4)$$

$t_{DF, Tage}/t$	Durchführungszeit in Tagen
$Z_G/1$	Zeitgrad
$Kap_{Tag}/1$	Tageskapazität
$t_{DF, Min}/min$	Durchführungszeit in Minuten

Die Formel (5.4) dient zur Berechnung der Durchführungszeit $t_{DF, Tage}$ in Tagen. Durch umformen der Formeln (5.1), (5.2) und (5.3) erhält man für die Berechnung der Bearbeitungszeit je Stück Formel (5.5).

$$t_S = \frac{(t_{DF, Tage} \times Z_G \times Kap_{Tag}) - t_R}{LOS} \quad (5.5)$$

$t_{DF, Tage}/t$	Durchführungszeit in Tagen
$Z_G/1$	Zeitgrad
$Kap_{Tag}/1$	Tageskapazität
t_R/min	Durchführungszeit in Minuten
$LOS/1$	Losgröße

Der Zeitgrad Z_G entspricht einem Faktor mit dem Störgründe wie z.B. Instandhaltung, Reparaturen, technische Abklärungen oder Pausen der Mitarbeiter berücksichtigt werden. Dieser Zeitgrad wird als Faktor 0,9 angenommen. Die Tageskapazität Kap_{Tag} des Arbeitsplatzes, es wird eine Kapazität von 8 Arbeitsstunden, also 28.800 Sekunden, pro Arbeitstag definiert, wird um diesen Faktor korrigiert.

Um ein aussagekräftiges Ergebnis der Bearbeitungszeitberechnung zu erhalten wird eine gewichtete mittlere Bearbeitungszeit je Stück berechnet, mit folgender Formel (5.6):

$$\bar{t}_{S, n} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{DF, Tage} \times Z_G \times Kap_{Tag}) - t_R}{n \times LOS} \quad (5.6)$$

$t_{DF, Tage}/t$	Durchführungszeit in Tagen
$Z_G/1$	Zeitgrad
$Kap_{Tag}/1$	Tageskapazität

t_R/min	Durchführungszeit in Minuten
$LOS/1$	Losgröße
$n/1$	Auftragszahl
$\overline{t_{S,n}}/s$	Gewichtete mittlere Bearbeitungszeit je Stück

Durchlaufzeiten Sandstrahlen UNTERTEIL 1 QKC						
FA	Datum	Dauer	Sollzeit	Soll	LOS	Rüstzeit
Nr.	TT.MM.JJJ	min	min	Stk.	Stk.	min
10006	24.01.2016	644	420	210	215	44
10021	03.03.2016	668	440	220	222	45
10028	31.03.2016	1250	880	440	435	45
10056	27.04.2016	1378	880	440	441	46
10064	25.06.2016	670	458	229	230	44
10123	29.06.2016	615	420	210	215	45
10129	01.08.2016	1365	880	440	445	45
10153	26.09.2016	1334	900	450	445	46
10201	28.10.2016	689	440	220	223	46

Tab. 13: Auswertung der Durchlaufzeiten des Bauteils Unterteil 1 QKC, Quelle: Eigene Darstellung.

Im letzten Abschnitt dieses Kapitels folgt nun die Berechnung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit je Stück, durchgeführt am Beispiel des Fertigungsauftrags 10153 vom 26. September 2016, abgebildet in Tabelle 13. Zu Beginn wird die Bearbeitungszeit des definierten Auftrags in Minuten mittels Formel (5.4) in die Bearbeitungszeit in Tagen umgerechnet:

$$t_{DF, \text{Tag}} = \frac{t_{DF, \text{Min}}}{Z_G \times Kap_{\text{Tag}}} = \frac{1380}{0,9 \times 480} = 3,19$$

Danach wird mit Hilfe von Formel (5.5) die Bearbeitungszeit je Stück in Minuten berechnet.

$$t_S = \frac{(t_{DF, \text{Tag}} \times Z_G \times Kap_{\text{Tag}}) - t_R}{LOS} = \frac{(3,19 \times 0,9 \times 480) - 46}{445} = 2,998 \approx 3$$

Es folgt die Durchführung der Berechnung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit je Stück anhand des Betrachtungszeitraumes Jänner bis Oktober 2016:

$$\overline{t_{S,n}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(t_{DF, \text{Tag}} \times Z_G \times Kap_{\text{Tag}}) - t_R}{LOS}}{n} = \frac{3 + 3 + 2,9 + 3,1 + 2,9 + 2,9 + 3,1 + 3 + 3,1}{9} = 3$$

$$\overline{t_{S,n}} = 3$$

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit je Stück beläuft sich somit auf 3 Minuten.

5.2.4 Gegenüberstellung der SOLL- und IST-Zeiten

Führt man die berechneten Einzelzeiten einer Gegenüberstellung mit den vorgegebenen Planzahlen zu, so wird, wie Abbildung 52 zeigt, schnell deutlich, dass diese nicht übereinstimmen. Im Zuge der Einführung eines neuen ERP-Systems wurden zwar alle Fertigungszeiten an die Ist-Zeiten angeglichen, trotzdem kommt es aber zur erhaltenen Abweichung.

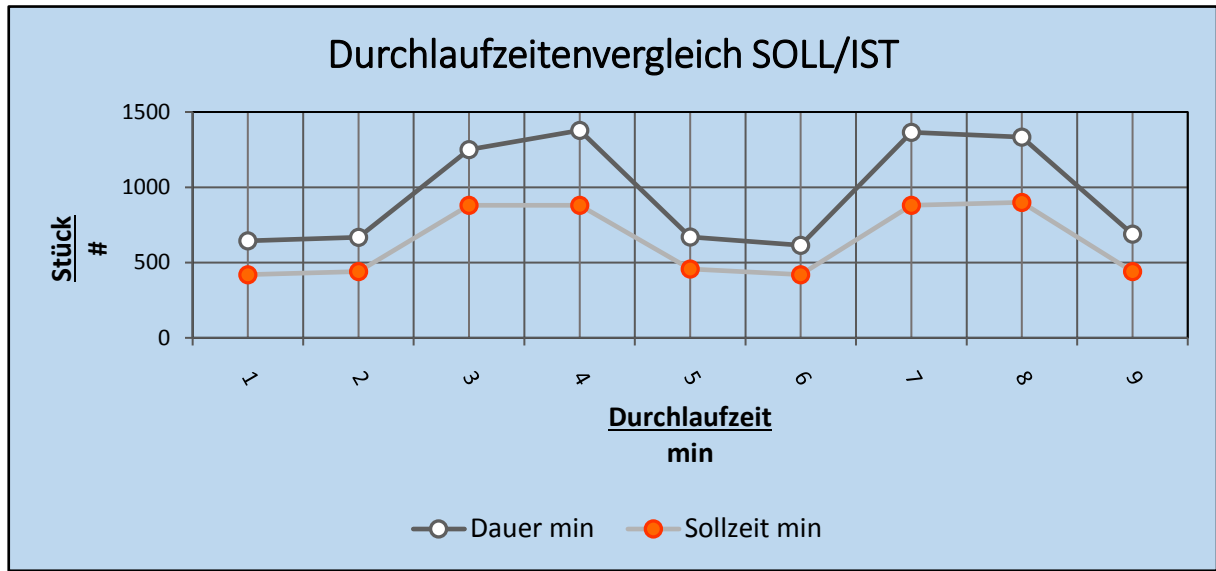


Abb. 52: Vergleich der Vorgabe- und Fertigungszeiten, Quelle: Eigene Darstellung.

Nach Überprüfung der im System hinterlegten Parameter, siehe Abbildung 53, kann als Ursache für diese Abweichung die Tatsache genannt werden, dass die hinterlegten Daten von einem ehemaligen Mitarbeiter stammen und der aktuelle Prozessverantwortliche diese Vorgaben nicht erfüllen kann. An dieser Stelle der Masterarbeit wurden zwei Maßnahmen in den KVP übernommen. Erstens wurde, als kurzfristige Übergangslösung, zum Zweck der optimalen Planung und Maschinenauslastung die Anpassung der Sollzeiten im System angeordnet. Weiter wurde in den KVP eine Mitarbeiterschulung angeordnet um langfristig wieder an die Vorgabezeiten heranzukommen.

Leitzahl	Pos	AG-Beschreibung	AG-Gruppe	Arbeitsplatz	te ME	tr ME	tb ME	Status
53733	10	Materialentnahme / Buchu...						Offen
53734	20	Material lt. Stückliste vorbere...	Materialag...	MAVD	0,0000 min	0,0000 min	0,0000 Std	Offen
53735	30	Mechanische Fertigung	Montage Fl...	MECH	1,0000 min	15,0000 min	0,0000 min	Offen
53736	40	Reinigen in MECH	Montage Fl...	W/AME	0,0000 min	0,0000 min	0,0000 min	Offen
53737	50	Stahlten Kabine	Montage Fl...	GLAS	2,0000 min	45,0000 min	0,0000 min	Offen
53738	60	Waferprüfung	Qualitätsc...	MPQS	0,0000 min	0,0000 min	0,0000 min	Offen
53739	70	Verpacken / Einlagern / Ve...	Logistik (L...	ELAG	0,0000 min	0,0000 min	0,0000 min	Offen
53740	80	Teile chem. versickeln lt. Z...						Offen
53741	85	Ressourcenbuchung						Offen
53742	90	Aufreiben der Bohrung und ...	Montage Fl...	MECH	1,5000 min	20,0000 min	0,0000 min	Offen
53743	100	Verpacken / Einlagern / Ve...	Logistik (L...	ELAG	0,0000 min	0,0000 min	0,0000 min	Offen

Abb. 53: Vergleich der Vorgabe- und Fertigungszeiten, Quelle: Eigene Darstellung.

5.3 Prozessschwachstellen und Verbesserungspotenzial

Als größte identifizierte Schwachstelle beim betrachteten Prozess Sandstrahlen wird intern im Unternehmen die Tatsache der Facharbeiterbindung an den Prozess gesehen. Einerseits wird der Facharbeiter zeitlich an den Prozess gebunden, was bei einem zeitaufwendigen Prozess wie dem betrachteten beträchtliche Mitarbeiterkapazitäten verschlingt. Diese Mitarbeiter werden dann bei anderen Fertigungs- oder Herstellprozessen in anderen Unternehmensbereichen vermisst und müssen dort kompensiert werden. Hier liegt das Verbesserungspotenzial eindeutig auf der Entlastung der Mitarbeiter und der Schaffung neuer Kapazitäten für komplexere Aufgaben und Prozesse.

Andererseits ist mit Mitarbeiterbindung auch der Umstand gemeint, dass je nach Mitarbeiter das Resultat der gefertigten Oberfläche variiert und sich die Fertigungsdauer stark unterscheidet, d.h. der Prozess auch sehr individuell geprägt ist. Großes Potential liegt daher auch in der erreichbaren Homogenität der Prozessdurchführung mittels Automatisierungslösung. Mit der Bearbeitung durch einen Industrieroboter können Prozessschwankungen wie zum Beispiel ruckhafte Werkzeugführung oder unterschiedliche Strahldauer reduziert oder sogar vermieden werden.

Eine weitere Prozessschwachstelle ist zum Beispiel, dass sich mit zunehmender Prozessdauer beim manuellen Strahlen die Prozessimmissionen in Form von Körpertemperatur und Schweiß ändern und teilweise gravierenden Einfluss auf das Endergebnis haben. Diese Art der Prozessimmission hat in der Vergangenheit auch schon zu Ausschuss geführt, Abbildung 54 zeigt einige Bauteile die durch sich ändernde Prozessimmissionen gesperrt werden mussten.

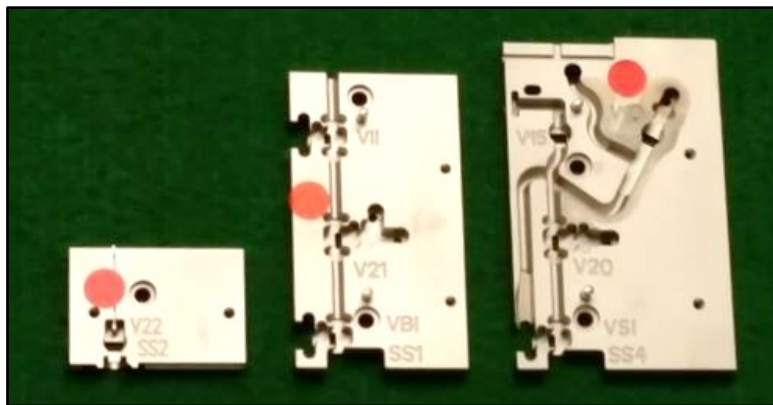


Abb. 54: Isometrische Darstellung der Baugruppe AG/AGCI-Platte, Quelle: Eigene Darstellung.

Hier liegt das größte Verbesserungspotenzial darin, dass die Prozessimmissionen seitens des ausführenden Werkzeuges, im angenommenen Fall ein Industrieroboter, weitestgehend gleich bleiben.

Der gesamte Prozess der Fertigung dieser Bauteilreihe gestaltet sich jedoch kritisch, da auch nach erfolgreicher Beseitigung der unerwünschten Prozessemissionen das Restrisiko von Ausschuss bei der externen Fertigung durch unsere langjährigen Partner besteht. In Abbildung 55 sind Beispielaufnahmen von Ausschussteilen dargestellt, welche durch falsches Handling beim Beschichten entstanden sind.

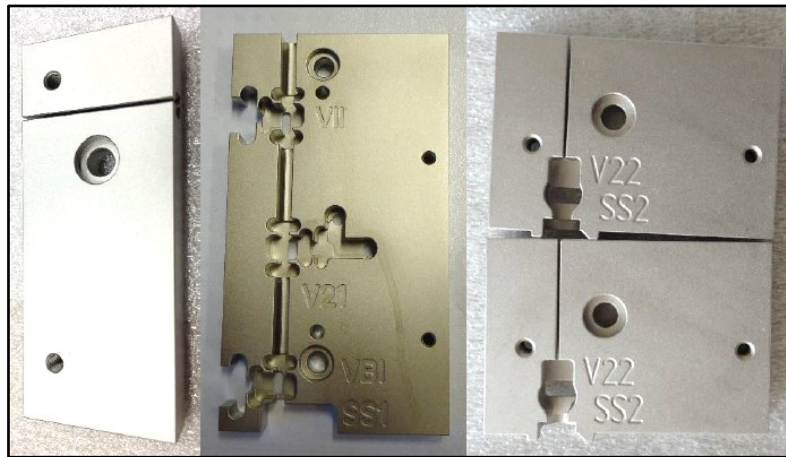


Abb. 55: Auszug an Beispielen von Ausschussteilen durch fehlerhafte, externe Arbeiten, Quelle: Eigene Darstellung.

5.4 Erhebung und Analyse des Arbeitsumfeldes

Liefertreue und die Sicherstellung dieser sind neben Fertigungskosten wesentliche Kennzahlen für die nationale wie internationale Wettbewerbsfähigkeit für Unternehmen. Einflüsse von außen durch steigende Stückzahlen und geforderte Flexibilität machen einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess notwendig. Die Gewährleistung zur Sicherstellung der externen wie internen Liefertreue macht es notwendig die bestehenden Prozesse einer regelmäßigen Überarbeitung zu unterziehen und eine Anpassung an den Markt und die Technologien vorzunehmen.

Zum Zweck der Darstellung der aktuell vorhandenen Situation am Arbeitsplatz Sandstrahlen, ist es notwendig eine detaillierte Übersicht über den bestehenden Prozess und dessen Prozessgruppen zu geben. Diese Erhebung des Ist-Zustandes ist Grundstein für das Reengineering eines Prozesses, d.h. die Um- bzw. Neugestaltung von bereits definierten Abläufen. In dieser Erhebung werden Stärken und Verbesserungspotenzial der einzelnen Prozesse und ihrer Arbeitsschritte sichtbar gemacht, und somit können zielgerichtete Veränderungsmaßnahmen angedacht und eingeführt werden.

Die Ist-Stands Analyse sollte im Wesentlichen Antworten auf die folgenden Fragen geben:

- Besteht bei der derzeitigen Situation in der Abteilung für Endmontage der Bedarf den Prozess Sandstrahlen Bauteilreihe QKC zu automatisieren?
- Sind solche Automatisierungslösungen oder Teillösungen bereits vorhanden, und in welchem Ausmaß ist das der Fall?
- Ist die Dokumentation solcher Automatisierungslösungen bisher ausreichend geschehen, und wird diese regelmäßig bzw. bei Änderungen an der Anlage und Anlageteilen aktualisiert?
- Gibt es Ähnlichkeiten im Aufbau des Prozessablaufs zu anderen Fertigungsteilen oder Baugruppen?
- Sind die Fertigungskapazitäten im Bereich Endmontage erschöpft?
- Gibt es eine klare Aufgabenverteilung oder gibt es zunehmend Probleme durch mangelnde Kommunikation und fehlende Struktur?

Zur Erhebung des Ist-Zustandes des betroffenen Prozesses und des grundsätzlichen Standes der Abteilung Endmontage wurde in Zusammenarbeit mit der Leiterin des internen Qualitätsmanagements, der Produktionsleitung und der Teamleitung der Abteilung Endmontage ein Fragebogen entwickelt. Dieser ausgearbeitete Fragenkatalog ermöglicht nun die praxisnahe und effiziente Abbildung des Ist-Zustandes für weitere Betrachtungen.

Mit diesen durch die Befragung der mitarbeitenden, prozessnahen Personen gewonnenen Erkenntnisse wird nun die Reorganisation einzelner Prozesse oder Prozessgruppen möglich.

5.4.1 Erstellung Fragenkatalog zur Erhebung des Arbeitsumfeldes

Der erste Abschnitt der Befragung dient der Beurteilung der Zufriedenheit der Mitarbeiter in den betroffenen Bereichen mit der Fertigungssituation und den verwendeten Anlagen und Vorrichtungen.

Der zweite Abschnitt zeigt die Qualität der zurzeit in Verwendung stehenden Anlagen und Vorrichtungen, hinsichtlich Effektivität, Ergonomie und Prozessfähigkeit.

Im dritten Abschnitt werden allgemeine Fragen zu Teilgebieten der Automatisierungstechnik gestellt, um Kompetenz und technische Fähigkeiten der betroffenen Mitarbeiter festzustellen. Für das Unternehmen zeigen sich in diesem Zusammenhang die Fähigkeit der Mitarbeiter zur Inbetriebnahme und Instandhaltung von Automatisierungslösungen, sowie die Sicherheit für Mensch und Maschine. Weiter kann bei unzureichenden Ergebnissen über personelle Entscheidungen bereits im Vorhinein nachgedacht werden und eventuell erforderliche Schulungsmaßnahmen erfolgen. Für den Mitarbeiter bedeutet der dritte Abschnitt eine individuelle Überprüfung der technischen Anforderungen.

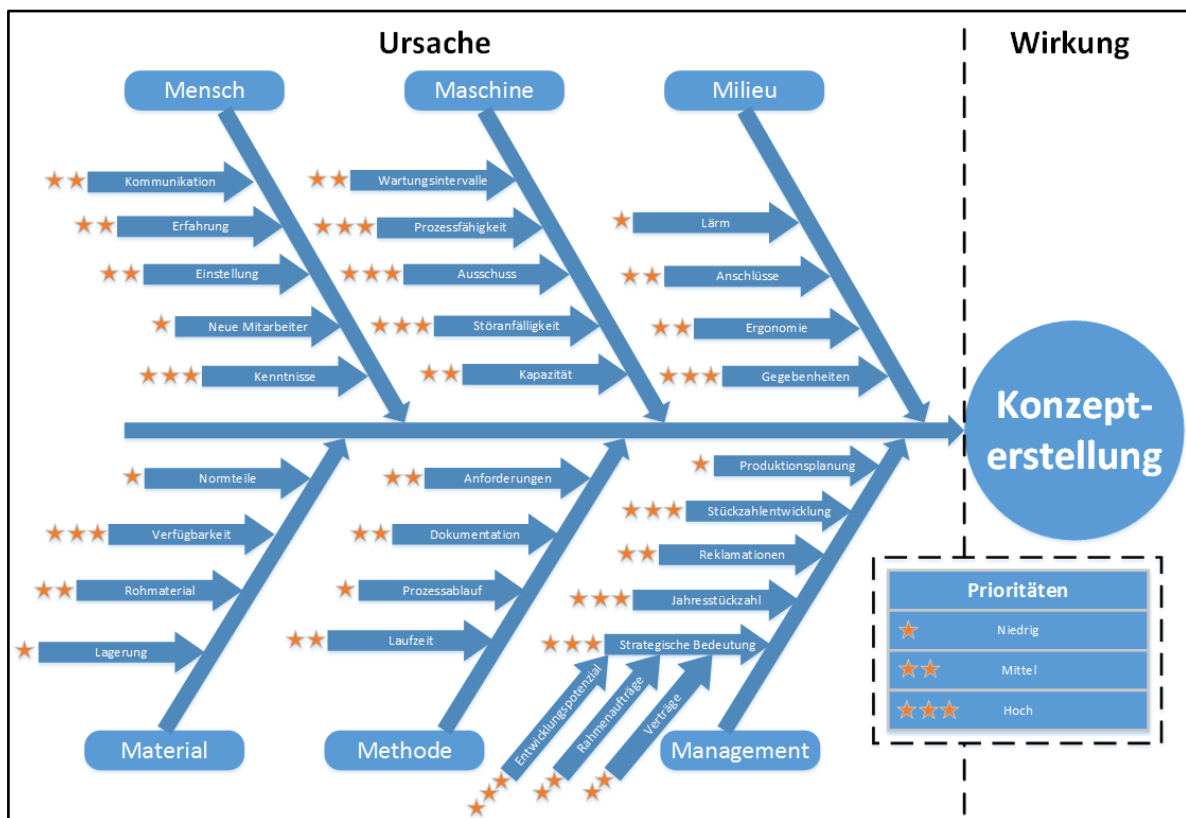


Abb. 56: Ishikawa-Diagramm mit Prioritätenvergabe, Quelle: Eigene Darstellung.

Zur systematischen und vollständigen Ermittlung der Einflussgrößen auf das Automatisierungspotenzial wurde ein Ishikawa-Diagramm, ein so genanntes Ursache-Wirkungs-Diagramm, erstellt. Hier wurden alle Haupt- und Untereinflussgrößen, die Haupt- und Unterursachen, eingetragen und diese führen fließend zur Lösung, der Wirkung. Durch die Visualisierung wird ein strukturierter Ablauf gewährleistet. Da in dieser Art der Visualisierung kein Einfluss auf die Gewichtung genommen werden kann wurde ein eigenes Prioritätenmodell eingefügt. Dies dient der übersichtlicheren Ermittlung der Wichtigkeit einer Ursache auf die betrachtete Problematik, siehe Abbildung 56.¹⁵³

Alle teilnehmenden Mitarbeiter wurden im Vorhinein über die Anonymität der Umfrage informiert, und dass diese lediglich als Momentaufnahme der betrieblichen Ausgangssituation dient, nicht um Mitarbeiter zu überprüfen oder zu differenzieren.

Es folgen die Abschnitte mit den formulierten Fragestellungen:

Abschnitt 1:

- 1.) Sind in ihrer Abteilung Anlagen und Vorrichtungen zur Automatisierung von Prozessen und deren Arbeitsschritten adaptiert?
- 2.) Sind diese Anlagen und Vorrichtungen anwenderfreundlich ausgeführt?
- 3.) Laufen diese Anlagen mit hoher Wiederholgenauigkeit und gewährleisten diese eine hohe Prozesssicherheit?
- 4.) Sehen Sie Handlungsbedarf hinsichtlich der Anschaffung oder Eigenfertigung von neuen Automatisierungslösungen? Wenn ja, wird auf Ihre Forderungen seitens des Unternehmens eingegangen?
- 5.) Wie sind Sie selbst mit der Dokumentation der Anlagen und Vorrichtungen und der Fehlerbeschreibung zufrieden?

Abschnitt 2:

- 1.) Können die im Fertigungsauftrag eingetragenen Ablaufzeiten mit den vorhandenen Automatisierungslösungen eingehalten werden?
- 2.) Wird die geforderte Qualität der Produkte mit der Anlage und den Vorrichtungen erreicht?
- 3.) Befindet sich der prozentuelle Ausschussanteil der gefertigten Teile im Toleranzbereich?
- 4.) Ist die Arbeit an und mit der Automatisierungslösung für den menschlichen Körper belastend oder ergonomisch in Ordnung?

Abschnitt 3:

- 1.) Was verstehen Sie unter dem Begriff Industrieroboter?
- 2.) Was verstehen Sie unter dem Begriff Koordinatensystem?
- 3.) Was verstehen Sie unter dem Begriff Bezugspunkt?
- 4.) Was verstehen Sie unter den Begriffen Online- bzw. Offline-Programmierung?

¹⁵³ Vgl. Gorecki/Pautsch (2014), S. 89

- 5.) Was verstehen Sie unter dem Begriff Pneumatik?
- 6.) Gibt es für Sie als Mitarbeiter eine definierte Verfahrensvorschrift für Störfälle an einer Anlage?
- 7.) Sind Sie mit den Sicherheitsvorschriften beim Arbeiten an elektrischen Anlagen vertraut?
- 8.) Sind Sie sich der Gefahren des elektrischen Stromes bei Störfällen durch Isolationsfehlern oder Masseschluss bewusst?

Alle Mitarbeiter die mit der Bedienung von Automatisierungslösungen und der Arbeit in der Abteilung Endmontage beauftragt sind, und jene die mit der Definition der Abläufe und der Zuteilung der Prozesse und Baugruppen beauftragt sind, wurden befragt.

5.4.2 Auswertung des Fragenkataloges als IST-Standerhebung

Insgesamt wurden sieben Personen mit der Beantwortung des ausgearbeiteten Fragebogens beauftragt, wobei jeder der Abschnitte separat ausgewertet wurde und in Form einer Tabelle dargestellt wurde.

Für die Beantwortung der Fragen von Abschnitt 1 und 2, abgebildet in Tabelle 14 und 15, wurde ein im Unternehmen standardisiertes Punkteschema von 0 bis 4 zu erreichenden Punkten eingeführt, wobei Null als unzureichend und 4 als zur Gänze erfüllt gilt.

Der dritte Abschnitt, in Tabelle 16 abgebildet, dient der Erhebung des theoretischen Wissens der Mitarbeiter und deren Verhalten im Störfall. Die Fragen in diesem Abschnitt sind mittels kurzer Beschreibung stichwortartig zu beantworten. Die Antworten werden je nach Fachgebiet von den zuständigen Teamleitern ausgewertet, wobei pro Frage eine maximale Punkteanzahl von 10 zu erreichen ist.

Auswertung Abschnitt 1:

Messung der Mitarbeiterzufriedenheit hinsichtlich Anlagen und Vorrichtungen.

Fragen Nr.	Frage	Bewertung 0 - 4					Σ der Bewertung	Durchschnitt
		0	1	2	3	4		
1	Sind in ihrer Abteilung Anlagen und Vorrichtungen zur Automatisierung von Prozessen und deren Arbeitsschritten adaptier?	0	2	3	1	1	$2 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 4$ 14	14/7 2
2	Sind diese Anlagen und Vorrichtungen anwenderfreundlich ausgeführt?	0	1	3	2	1	$1 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 1 \cdot 4$ 17	17/7 2,4
3	Laufen diese Anlagen mit hoher Wiederholgenauigkeit und gewährleisten diese eine hohe Prozesssicherheit?	0	1	1	3	2	$1 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 4$ 20	20/7 2,9
4	Sehen sie Handlungsbedarf hinsichtlich der Anschaffung oder Eigenfertigung von neuen Automatisierungslösungen? Wenn ja, wird auf Ihre Forderungen seitens des Unternehmens eingegangen?	1	0	3	1	2	$1 \cdot 0 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 2 \cdot 4$ 17	17/7 2,4
5	Wie sind sie selbst mit der Dokumentation der Anlagen und Vorrichtungen und der Fehlerbeschreibung zufrieden?	1	2	2	2	0	$1 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 3$ 12	11/7 1,7
Gesamtbewertung:							$\frac{(2+2,4+2,9+2,4+1,7)}{5}$ 2,3	

Tab. 14: Fragenkatalog Abschnitt 1, Quelle: Eigene Darstellung.

Auswertung Abschnitt 2: Messung der Qualität der verwendeten Anlagen und Vorrichtungen.

Fragen Nr.	Frage	Bewertung 0 - 4					Σ der Bewertung	Durchschnitt
		0	1	2	3	4		
1	Können die im Fertigungsauftrag eingetragenen Ablaufzeiten mit den vorhandenen Automatisierungslösungen eingehalten werden?	0	2	3	1	1	$2 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 4$ 15	15/7 2,1
2	Wird die geforderte Qualität der Produkte mit der Anlage und den Vorrichtungen erreicht?	0	0	2	3	2	$2 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 4$ 21	23/7 3,3
3	Befindet sich der prozentuelle Ausschussanteil der gefertigten Teile im Toleranzbereich?	0	0	1	2	4	$1 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 4 \cdot 4$ 24	24/7 3,4
4	Ist die Arbeit an und mit der Automatisierungslösung für den menschlichen Körper ergonomisch entsprechend und nicht belastend?	0	0	2	0	5	$2 \cdot 2 + 5 \cdot 4$ 22	22/7 3,1
Gesamtbewertung:							$\frac{(2,1+3,3+3,4+3,1)}{4}$ 3	

Tab. 15: Fragenkatalog Abschnitt 2, Quelle: Eigene Darstellung.

Auswertung Abschnitt 3: Aufnahme der theoretischen Kenntnisse der Mitarbeiter bei der Betreuung der Anlagen und Vorrichtungen.

Fragen Nr.	Frage	Mitarbeiter							Durchschnittliche Bewertung je Frage
		1	2	3	4	5	6	7	
1	Was verstehen Sie unter dem Begriff Industrieroboter?	3	9	2	9	8	10	4	$(3+9+2+9+8+10+4)/7$ 6,4
2	Was verstehen Sie unter dem Begriff Koordinatensystem?	2	9	2	7	10	8	1	$(2+9+2+7+10+8+1)/7$ 5,6
3	Was verstehen Sie unter dem Begriff Bezugspunkt?	0	6	0	4	7	9	1	$(0+6+0+4+7+9+1)/7$ 3,9
4	Was verstehen Sie unter dem Begriff Online- bzw. Offline-Programmierung?	3	10	2	5	10	10	3	$(3+10+2+5+10+10+3)/7$ 6,1
5	Was verstehen Sie unter dem Begriff Wartung?	4	9	4	7	9	10	3	$(4+9+4+7+9+10+3)/7$ 6,6
6	Gibt es für Sie als Mitarbeiter eine definierte Verfahrensvorschrift für Störfälle an einer Anlage?	6	5	6	7	6	7	5	$(6+5+6+7+6+7+5)/7$ 6
7	Sind Sie mit den Sicherheitsvorschriften beim Arbeiten an elektrischen Anlagen vertraut?	2	4	3	4	3	5	2	$(2+4+3+4+3+5+2)/7$ 3,3
8	Sind Sie sich der Gefahren des elektrischen Stromes bei Störfällen durch Isolationsfehlern oder Masseschluss bewusst?	6	10	5	6	9	9	4	$(6+10+5+6+9+9+4)/7$ 7
Gesamtbewertung:		26	62	24	49	62	68	23	$(26+62+24+49+62+68+23)/7$ 44,9

Tab. 16: Fragenkatalog Abschnitt 3, Quelle: Eigene Darstellung.

5.4.3 Erkenntnisse der IST-Standerhebung

Aus der Ist-Stands Erhebung werden zwei Kennzahlen für die Nutzwertanalyse abgeleitet, und diese fließen dann in die Analyse ein. Als erste Kennzahl wird die Zufriedenheit der Mitarbeiter mit den verwendeten Anlagen und Vorrichtungen, kurz die Mitarbeiterzufriedenheit, definiert. Die zweite abgeleitete Kennzahl ist die Qualität der Anlagen und Vorrichtungen der betrachteten Prozesse, kurz Anlagenqualität.

Auf Grund der ausgewerteten Fragen zu den Themen technische bzw. theoretische Kenntnisse der Mitarbeiter und Reaktion der Personen im Störfall zeigt sich, dass im Falle der Automatisierung mittels Industrieroboter ein geeignetes Schulungsprogramm zu erarbeiten ist. Ebenfalls neben den grundlegenden Inhalten, muss dieses Schulungsprogramm auch eine wiederkehrende Überprüfung des Wissens beinhalten um die geschulten Inhalte auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen zu können. Die Basis für diese Auswertung zeigt das in Anhang 12 und 13 abgebildete Dokument zur internen Mitarbeiterbefragung.

6 KONZEPTERSTELLUNG

Mit den erarbeiteten Erkenntnissen aus Kapitel 5 wird nun im Folgenden ein komponentenunabhängiger Funktionsablauf erstellt, um daraus im Weiteren ein Grobkonzept für die Automatisierungslösung, samt neuen, zu Grunde liegenden Programmablaufplan, zu erstellen.

6.1 Erstellung eines Grobkonzepts

Entsprechend dem Titel dieser Masterarbeit, *Konzept zur Prozessoptimierung eines Sandstrahlarbeitsplatzes durch Einsatz eines Industrieroboters*, findet in diesem Kapitel die Auslegung der Arbeitsumgebung und der Roboterperipherie statt. Die Auswahl eines passenden Industrierobotermodells mit geeigneter Schutztechnologie zum Einsatz in abrasiven Umgebungen wurde bereits im Vorfeld von der Geschäftsführung auf Basis der Parameter des Datenblatts in Anhang 1 festgelegt, und ist somit nicht Gegenstand dieser Untersuchung, in Abbildung 57 ist der ausgewählte Roboter des Herstellers Stäubli dargestellt.



Abb. 57: Industrieroboter Stäubli TX60L CS8C, Quelle: Stäubli (2016), Onlinequelle [01.12.2016].

Als Grundlage für eine folgende Nutzwertanalyse als Entscheidungshilfe für die Systemauswahl werden im Vorhinein 2 Systemtypen definiert. Zum einen das System „Bewegtes Werkstück“ und zum anderen das System „Bewegtes Werkzeug“. Bereits bei der Projektvergabe stand fest, dass von Seiten der Unternehmensleitung eine Untersuchung auf eine mögliche Industrieroboter-Implementierung durchzuführen ist. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden nun schrittweise der neue Prozessablaufplan, die Einflussparameter und Anforderung, sowie daraus resultierende Kennzahlen und die Durchführung der Analyse mit diesen Kennzahlen stattfinden.

6.1.1 Anlagenmultifunktionalität

Den Prozess Sandstrahlen durchlaufen weitere Bauteile die im Unternehmen Stadler gefertigt werden, was den ersten Indikator für eine Anlagenmultifunktionalität darstellt. Die Bauteile unterscheiden sich in Geometrie und Rohmaterial, durchlaufen den Prozess aber mit gleichem Werkzeug und gleichem Medium in derselben Anlage, in Abbildung 58 sind einige dieser Bauteile, in Relation zur Größe einer 1-Euro-Münze, gezeigt. Mittels Backentausch am Greifer kann mit geringen Rüstzeiten auf einen Bauteilwechsel reagiert

werden, diese Backen können intern in den unterschiedlichsten Geometrien und Ausführungen hergestellt werden.

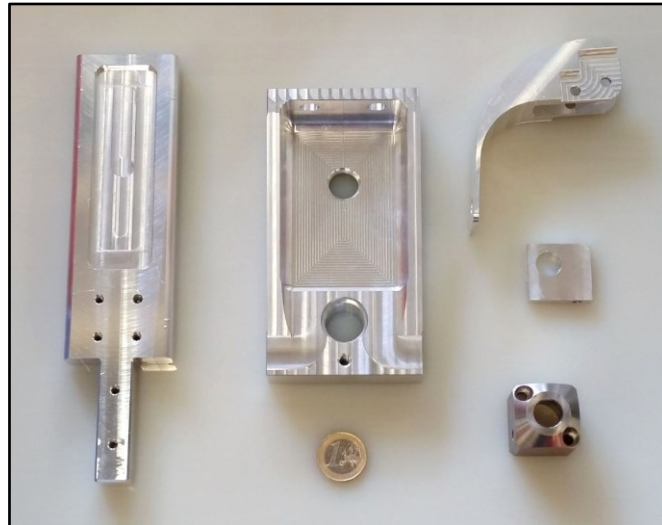


Abb. 58: Beispiele aus dem Bauteilspektrum des Prozesses Sandstrahlen, Quelle: Eigene Darstellung.

Ein weiterer Indikator der für eine Anlagenmultifunktionalität der geplanten Anlage steht ist der Umstand, dass sich die Investitionskosten bei mehreren Bauteilen besser verteilen und eine raschere Amortisation der Anlage gewährleistet ist. In Kapitel 8 wird auf das Investitionsvolumen und die Amortisationszeit noch genauer eingegangen.

6.1.2 Grobkonzept mit Prozessablaufplan

Abbildung 59 zeigt den aktualisierten Prozessablaufplan für die Automatisierung des Prozesses. Grundsätzlich gleicht der Ablauf dem bereits bestehenden, trotzdem gibt es einige markante Vorteile die sich aus einer Prozessautomatisierung ergeben. Nachdem die Facharbeiter, die dem Prozess Sandstrahlen zugehören die Bauteile vom vorangegangenen Prozess Fräsen erhalten, dürfen diese die Bauteile nur mehr mit Einweg-Baumwollhandschuhen berühren. Bei unsachgemäßer Handhabung ohne diese Handschuhe sind im Anschluss immer wieder Spuren vom Körperfett der Haut sichtbar. Nach dem externen Beschichten werden diese Spuren zu irreparablen Flecken die zum sofortigen Ausschuss der Teile führen. Wenn die Geometrie des Greifers des Industrieroboters so konstruiert wird das keine Marken oder Flecken entstehen, fällt eine kritische Prozessimmission weg. Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Prozessautomatisierung gegenüber dem aktuellen Ablauf ist der Wegfall der 100%-Kontrolle durch die durchführenden Mitarbeiter. Ist die Bewegungsbahn des Roboters einmal richtig erstellt und optimiert, sollte es auf Grund der Wiederholgenauigkeit zu einem leichten Erreichen der Spezifikationen kommen. Ein weiterer Vorteil der sich bei einer Umsetzung des Konzepts ergeben würde, ist die angestrebte Durchführung dieses Prozesses ohne zusätzliche Mitarbeiterkapazitäten zu verschlingen. Das Robotersystem könnte nach Ende einer Arbeitsschicht am Nachmittag für eine weitere mannlöse Produktionsphase vorbereitet werden, und am nächsten Tag zu Schichtbeginn mit den fertig bearbeiteten Teilen entladen werden.

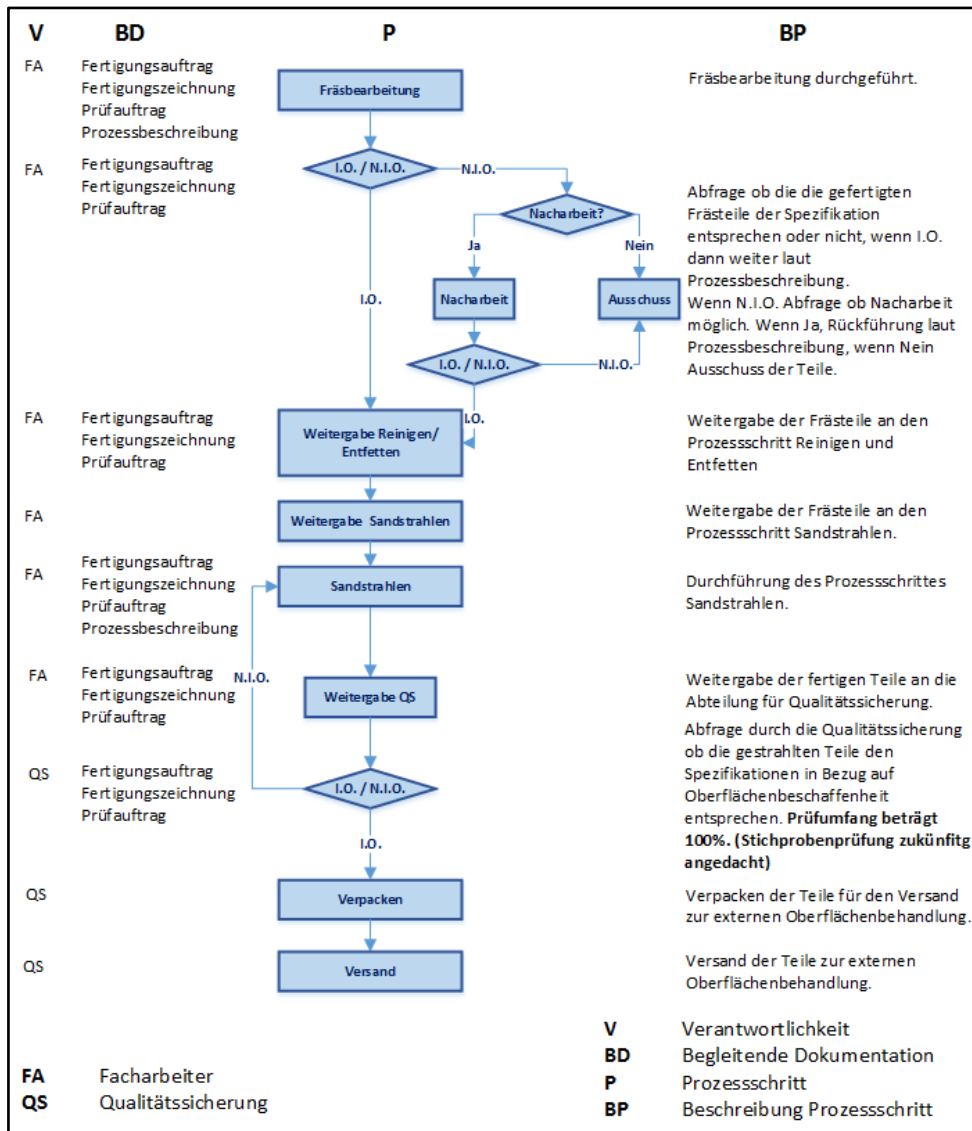


Abb. 59: Prozessablaufplan beim automatisierten Prozess Sandstrahlen, Quelle: Eigene Darstellung.

6.1.3 Zu berücksichtigende Sicherheitsaspekte

Die bestehende Sandstrahlanlage ist in Kapitel 4 bereits durch eine Überprüfung nach VEXAT auf die Sicherheit im Betrieb untersucht worden, und stellt im Weiteren keine Gefahren für die zuständigen Mitarbeiter durch die verwendeten Strahlmedien dar. Um die Mitarbeiter vor dem in Betrieb befindlichen Industrieroboter und seinen Bewegungen zu schützen wurde festgelegt die gesamte Roboteranlage mit einem Schutzkäfig aus Aluminiumprofilen und Plexiglas einzuzäunen. Die Inbetriebnahme der Anlage wird erst bei geschlossener Türe erfolgen, abgefragt wird dieser Befehl durch einen Türschuttschalter am Eingang. Ein wesentlicher Vorteil dieser Schutzeinrichtung ist die Einschränkung der Komplexität der Anlage durch die Reduktion der Sensorik, was beim ersten Projekt mit einem Industrieroboter intern angestrebt wird.

6.2 Systemauswahl

Mit Projektbeginn wurde von der Geschäftsführung festgelegt, dass es sich bei der Umsetzung der Anforderungen grundlegend um einen Industrieroboter handeln soll. Darüber hinaus soll versucht werden

den Industrieroboter nicht mittels einem Schutzmantel am Gehäuse des Roboters, sondern durch geeignete Überdruck-Einheit im Inneren des Roboters zu schützen. Dies soll sich positiv auf die Anlagenmultifunktionalität des Systems auswirken, und einen optimaleren Schutz für den Roboter gewährleisten. Nachdem mit dem Hersteller Stäubli ein Anbieter für diese Anforderungen gefunden war, wurde als Untersuchungsinteresse der Fokus auf die Art der Sandstrahlbearbeitung gelegt. Die Variante „Bewegtes Werkstück“, bei der die Sandstrahldüse im Inneren der Anlage fix montiert ist und der Roboter das Werkstück führt, steht der Variante „Bewegtes Werkzeug“, bei der der Roboter das am Arm montierte Werkzeug führt und den in der Anlage fix abgelegten Bauteil bearbeitet, gegenüber. Diese beiden Varianten werden nun einer Nutzwertanalyse zugeführt.

6.2.1 Definition der internen Anforderungen an eine Industrieroboterlösung

Um die Anforderungen an die anzuschaffende Anlage im Vorhinein zu definieren wurden diese mit Hilfe einer Anforderungsliste identifiziert, das interne Dokument zur Anforderungsliste ist in Anhang 5 abgebildet. Zum Zweck der Definition der Projektgrenzen und des Umfangs der Ausarbeitung wurde für die Planung der Anforderungen in einem Zeitraum von 2 Monaten eine Anforderungsliste erstellt. Die Mitglieder des Projektteams haben in Besprechungen bzw. internen Fachgesprächen die einzelnen Anforderungen identifiziert und erarbeitet, und vorab mit der Unterscheidung ob es sich um einen Wunsch oder eine Forderung seitens der Aufgabenstellung handelt. Des Weiteren wurde über die Einschränkung, ob es sich bei der definierten Forderungen um eine prioritäre handelt oder nicht, eine weitere Vorselektion eingeführt. Die Anforderungsliste wurde erstellt um grob abschätzen zu können wie sich die Erwartungen in Bezug auf das anzuschaffende System verhalten. Ein Formular für die Anforderungsliste wurde dazu erstellt; das ausgefüllte Formular für diese Konzepterstellung ist in Abbildung 60 dargestellt.


F = Forderung W = Wunsch	Nr.	Priorität	Anforderungen	Datum	verantwortlich
F	1	P	Einhaltung des Investitionsvolumen	14.02.2016	GG
F	2	P	Einhaltung der Amortisationsdauer	14.02.2016	GG
F	3	P	Adaption der bestehenden Anlage	17.02.2016	GG
W	4	-	Hersteller mit deutschsprachigem Support	18.02.2016	GG
F	5	P	Support vergleichbar mit Hermle-Support	18.02.2016	GG
F	6	P	Qualität der Bauteile muss ident sein	22.02.2016	GG
F	7	P	Multifunktionalität muss gegeben sein	22.02.2016	GG
W	8	-	Einhaltung der Produktionszeiten	11.03.2016	GG
F	9	P	Einhaltung der Ausschussquoten	11.03.2016	GG
F	10	-	Steigerung der Anlagenqualität	24.03.2016	GG
F	11	P	Einschränkung der Komplexität der Umsetzung	25.03.2016	GG
F	12	P	Minimierung der Sensorik der Anlage	25.03.2016	GG
F	13	P	Online- und Offline-Programmierung	25.03.2016	GG
F	14	P	Simulationstool vorhanden	25.03.2016	GG
F	15	P	Sicherheitsvorrichtungen konstruktiv	25.03.2016	GG
F	16	P	Vorrichtungen Eigenbau	25.03.2016	GG
F	17	P	Erleichterung Prozesslogistik	26.03.2016	GG
F	18	P	Ausbau der Anlage möglich	26.03.2016	GG
F	19	P	Mitarbeiter Know-How vorhanden	26.03.2016	GG
F	20	P	Prozessfähigkeit der Anlage gewährleistet	26.03.2016	GG
F	21	-	Manuelles Sandstrahlen möglich	26.03.2016	GG
Abnahme: SWJ			Datum: 04.06.2016		Blatt 1 von 1

Abb. 60: Anforderungsliste für die Automatisierung des Prozesses Sandstrahlen, Quelle: Eigene Darstellung.

6.2.2 Überführung der Anforderungen in Kennzahlen

Als Hardfacts, so genannte quantitative Kennzahlen, für die folgende Nutzwertanalyse wurden intern die folgenden Kennzahlen aus der Anforderungsliste überführt. Tabelle 17 zeigt die abgeleiteten Kennzahlen.

Einfluss auf die Kosten	Einfluss auf den Materialfluss in der Anlage
Einfluss auf die technische Umsetzung	Einfluss auf den Ausschussanteil
Einfluss auf die Gestaltung der Roboterzelle	Einfluss auf die Produktionszeit
Einfluss auf die Anlagenmultifunktionalität	Einfluss auf die bestehende Sandstrahlanlage
Einfluss auf die Prozessfähigkeit	

Tab. 17: Abgeleitete Kennzahlen für die Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.

Als qualitative Kennzahlen für die Bewertung wurden die Mitarbeiterzufriedenheit und die Anlagenqualität definiert. Im nächsten Abschnitt werden diese definierten Kennzahlen beschrieben.

6.2.3 Definition der Kennzahlen

In der nachfolgenden Tabelle 18 werden die für die Nutzwertanalyse benötigten Kennzahlen definiert und erläutert. Neben der Bezeichnung und einer kurzen Beschreibung sind auch Ziele und Parameter der Kennzahlen angeführt, welche wesentlich für die weitere analytische Betrachtung sind. Da die verschiedenen Kennzahlen unterschiedlichste Einflussfaktoren auf die Analyse besitzen wird auch eine eigene Beurteilungsskala für die verschiedenen Kennzahlen angeführt. Optional kann auch eine weitere Bemerkung als zusätzliche Information definiert werden.

Bewertungskennzahl	Definition	Gewichtung	Bewertung
Einfluss auf die Kosten	Berücksichtigung aller anfallenden Kosten zur späteren Betrachtung der Anlagenwirtschaftlichkeit. Wird den Herstellerangeboten entnommen.	17	1...10
Einfluss auf die technische Umsetzung	Definiert die Komplexität der technischen Umsetzung der jeweiligen Systemvariante. Wird der internen Erfahrung und Hinweisen der Hersteller entnommen.	8	1...10
Einfluss auf die Gestaltung der Roboterzelle	Definiert die physikalische Gestaltung der Roboterzelle. Wird aus der internen Erfahrung und Hinweisen der Hersteller entnommen.	4	1...10
Einfluss auf die Anlagenmultifunktionalität	Gibt an wie schnell und einfach das Robotersystem zur Fertigung anderer Bauteile adaptiert werden kann. Basis ist die interne Erfahrung in Bezug auf Rüstzeiten.	16	1...10
Einfluss auf die Prozessfähigkeit	Gibt an wie konstant sich die erhaltene Qualität der fertigen Produkte verhält. Wird durch Projekt-Team festgelegt.	11	1...10
Einfluss auf den Materialfluss in der Anlage	Definiert wie die Bauteillogistik innerhalb des Prozesses abläuft, Basis ist die Art und Anzahl der Zwischenlagerung im Prozess.	9	1...10
Einfluss auf den Ausschussanteil	Definiert die Häufigkeit von möglich auftretendem Ausschuss an, bezieht sich stak auf die Zwischenlagerungen.	8	1...10
Einfluss auf die Produktionszeit	Definiert den tatsächlichen Zeitaufwand durch den Industrieroboter, der für die Bearbeitung der Bauteile ohne menschliches Zutun erfolgt.	4	1...10
Einfluss auf die bestehende Sandstrahlanlage	Gibt an wie die bestehende Sandstrahlanlage physikalisch adaptiert werden muss um die jeweilige Systemvariante umzusetzen.	5	1...10
Einfluss auf die Mitarbeiterzufriedenheit	Definiert den Einfluss der Mitarbeiterzufriedenheit in den betroffenen Bereichen.	6	1...10
Einfluss auf die Anlagenqualität	Definiert wie sich die Qualität der Anlage bei der jeweiligen Systemvariante ändert.	12	1...10

Tab. 18: Kennzahlenbeschreibungsblatt Sandstrahlautomatisierung, Quelle: Eigene Darstellung

Die in Tabelle 18 definierten Kennzahlen werden in Hardfacts und Softfacts eingeteilt. Zu den Hardfacts, den sogenannten quantitativen Kennzahlen, zählen der Einfluss auf die Kosten, der Einfluss auf die technisch Umsetzung, der Einfluss auf die Gestaltung der Roboterzelle, der Einfluss auf die Anlagenmultifunktionalität, der Einfluss auf die Prozessfähigkeit, der Einfluss auf den Materialfluss in der Anlage, der Einfluss auf den Ausschussanteil, der Einfluss auf die Produktionszeit, sowie der Einfluss auf bestehende Anlage. Zu den Softfacts, den sogenannten qualitativen Kennzahlen, gehören der Einfluss auf die Mitarbeiterzufriedenheit sowie der Einfluss auf die Anlagenqualität.

Einfluss auf die Kosten

Diese Kennzahl definiert das Investitionsvolumen der jeweiligen Systemvariante und ist in Form einer Obergrenze von der Geschäftsführung vorgegeben, darüber hinaus hat das Investitionsvolumen starken Einfluss auf die Amortisationszeit. Ist ein wesentlicher Einflussfaktor für die Umsetzung und daher mit einer Gewichtung von 17 definiert.

Einfluss auf die technische Umsetzung

Der Einfluss auf die technische Umsetzung bezieht sich auf die Komplexität der Anlagenadaption für die jeweilige Systemvariante. Aus technischer Sicht ein wichtiger Einflussfaktor, daher mit einer Gewichtung von 8 definiert.

Einfluss auf die Gestaltung der Roboterzelle

Definiert die Gestaltung der Roboterzelle hinsichtlich der physikalischen Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel Platzbedarf, Arbeitsraum, Zugänglichkeit oder Vorrichtungsaufwand. Diese Kennzahl ist mit einer Gewichtung von 4 definiert.

Einfluss auf die Anlagenmultifunktionalität

Diese Kennzahl definiert den Aufwand der im Falle einer Bearbeitungsänderung, bzw. bei Änderung der Bauteil-Geometrien oder einem geänderten Einsatzort im Unternehmen anfällt. Die Anlagenfunktionalität ist ein wichtiger Faktor bei der Umsetzung dieses Projektes und somit mit einer Gewichtung von 16 definiert.

Einfluss auf die Prozessfähigkeit

Der Einfluss auf die Prozessfähigkeit der Systemvariante gibt an wie sicher eine produktive Fertigung mit dieser Systemvariante gewährleistet werden kann. Diese Kennzahl ist eine Abschätzung des Projektteams und daher mit einer Gewichtung von 11 definiert.

Einfluss auf den Materialfluss in der Anlage

Entscheidend für die Qualität der Produkte sind die Anzahl und die Art der Zwischenlagerungen im Prozess Sandstrahlen. Jede Zwischenlagerung sofern nicht unbedingt von Nöten ist zu vermeiden, da hier die Gefahr der Oberflächenbeschädigung besteht. Wird mit einer Gewichtung von 9 definiert.

Einfluss auf den Ausschussanteil

Die Kennzahl definiert den Ausschussanteil der produzierten Teile bei Umsetzung der der jeweiligen Systemvariante. Ist eine Abschätzung durch das Projektteam, trotzdem mit einer Gewichtung von 8 definiert da der Ausschuss einen enormen Einfluss auf die Gesamtperformance des Prozesses darstellt.

Einfluss auf Produktionszeit

Im direkten Vergleich der beiden Systemvarianten spielt die Produktionszeit zwar eine wesentliche Rolle zur Unterscheidung der Performance, da aber anstatt der bisherigen Fertigung im Einschichtbetrieb eine Fertigung im Zwei- oder Mehrschichtbetrieb angestrebt wird, ist die Produktionszeit hier vernachlässigbar. Die Kennzahl ist mit einer Gewichtung von 4 definiert.

Einfluss auf die bestehende Anlage

Bezieht sich zum einen auf sämtliche anfallenden An- und Umbauten an der bestehenden Sandstrahlanlage, sowie der Anforderung, dass die Anlage auch im Falle einer Roboterautomatisierung weiterhin für den manuellen Betrieb geeignet sein muss – ohne Umbauten. Ist mit einer Gewichtung von 5 definiert.

Zu den qualitativen Kennzahlen dieser Bewertung zählen der Einfluss auf die Mitarbeiterzufriedenheit sowie der Einfluss auf die Anlagenqualität.

Einfluss auf die Mitarbeiterzufriedenheit

Die Mitarbeiterzufriedenheit ist aus der Erfahrung ein wichtiger Einflussfaktor auf die Performance eines Prozesses und wird somit als Kennzahl mitaufgenommen, und mit einer Gewichtung von 6 definiert.

Einfluss auf die Anlagenqualität

Definiert die Qualität der Anlage hinsichtlich Umbauten und Adaptionen. Mit zunehmendem Umbau verliert die Anlage an Flexibilität und somit an der Eigenschaft der Fähigkeit zu einer höheren Anlagenmultifunktionalität. Diese Kennzahl wird mit einer Gewichtung von 12 definiert.

Mit diesen definierten Kennzahlen wird nun im nächsten Abschnitt die Nutzwertanalyse zur Auswahl einer geeigneten Systemvariante durchgeführt, und die daraus erhaltenen Ergebnisse interpretiert. Hauptaugenmerk bei der Durchführung der nachfolgenden Nutzwertanalyse liegt auf den quantitativen Kennzahlen, diese wurden somit in Summe mit einer Gesamtgewichtung von 82 definiert, demgegenüber die qualitativen Kennzahlen nur mit einer Gesamtgewichtung von 18 definiert wurden.

6.2.4 Infrage kommende Systeme

Wie in Kapitel 6.2 bereits analysiert geht es bei der anstehenden Nutzwertanalyse um die Bewertung von lediglich 2 infrage kommenden Systemvarianten. Diese beiden Varianten sind bezeichnet als „Bewegtes Werkzeug“ und „Bewegtes Werkstück“, und werden im Weiteren analysiert.

Bewegtes Werkstück

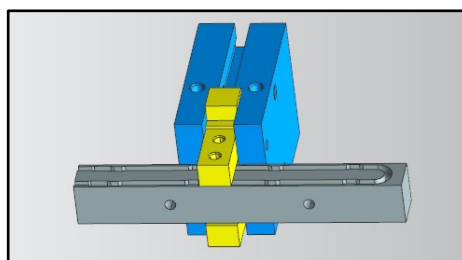


Abb. 61: Darstellung der Systemvariante „Bewegtes Werkstück“, Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 61 stellt den verwendeten Greifer beim System Bewegtes Werkstück dar. Der Greifer ist bei dieser Systemvariante als pneumatischer Backengreifer ausgeführt. Für eine Umsetzung des Konzepts mit dieser Variante einige Aspekte zu berücksichtigen, welche im Folgenden beschrieben werden. Zum Schutz der Werkstückoberflächen vor Deformationen durch die Greiferbacken sind die Greiferbacken im Eingriffsbereich mit einem Material zu versehen, welches die Oberfläche der Bauteile nicht beschädigt. Des Weiteren müssen alle Bauteilgeometrien mit dem Greifersystem abgedeckt werden, was dazu führt, dass es für die unterschiedlichen Größen der Werkstücke verschiedene Greiferbackenpaare gibt, welche einfach zu tauschen sind. Ein wesentlicher Vorteil dieser Systemvariante ist, wie in Abbildung 62 dargestellt, dass die Sandstrahldüse fix in der Sandstrahlanlage montiert ist und die beiden zuführenden Schläuche für Druckluft- und Strahlmedium Bereitstellung nicht nachgeführt werden müssen.

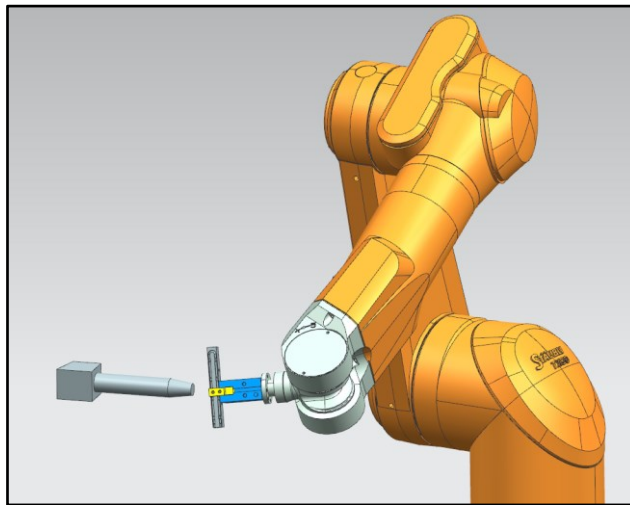


Abb. 62: Darstellung der Systemvariante „Bewegtes Werkstück“ mit fixierter Sandstrahldüse, Quelle: Eigene Darstellung.

Da die Bauteile von allen Seiten mit dem Sandstrahlmedium bearbeitet werden müssen, ist es unerlässlich die Teile kurz abzulegen, mit dem Greifer umzugreifen und die Teile fertig zu bearbeiten. Ohne Umgreifen kann das Bauteil nicht vollständig, entsprechend der vorliegenden Spezifikation, bearbeitet werden.

Bewegtes Werkzeug

Bei der zweiten Systemvariante Bewegtes Werkzeug ist die technische Umsetzung des Sandstrahlvorgangs komplexer gestaltet. Wie in Abbildung 63 dargestellt, ist die Sandstrahldüse fix auf dem Effektor des Roboterarms montiert, versehen mit einem eigens konstruierten Schnellspannsystem für rasche Montage und Demontage. Entscheidend ist aber die Ausrichtung der Sandstrahldüse am Effektor des Roboterarms um bei Umbauten bzw. Rüstarbeiten eine akzeptable Wiederholgenauigkeit zu erhalten. Ein weiterer kritischer Einflussfaktor auf die Performance des Prozesses ist die Nachführung der beiden Schläuche für die Bereitstellung des Sandstrahlmediums und der Druckluft. Dadurch wird der Roboter auf der einen Seite in seiner Bewegungsfreiheit stark eingeschränkt und auf der anderen Seite kommt es bei einer angedachten Multifunktionalität des Industrieroboters bei Arbeitsplatzwechsel zu langen Rüstzeiten. Die Komplettbearbeitung des Bauteils von allen Seiten kann bei dieser Systemvariante nur umgesetzt werden indem man wie in Abbildung 63 dargestellt ebenfalls einen pneumatischen Parallelgreifer am

Effektor des Industrieroboters montiert. Dieser zusätzliche Greifer wird benötigt da auch in diesem Fall das Werkstück abgelegt und umgegriffen werden muss.

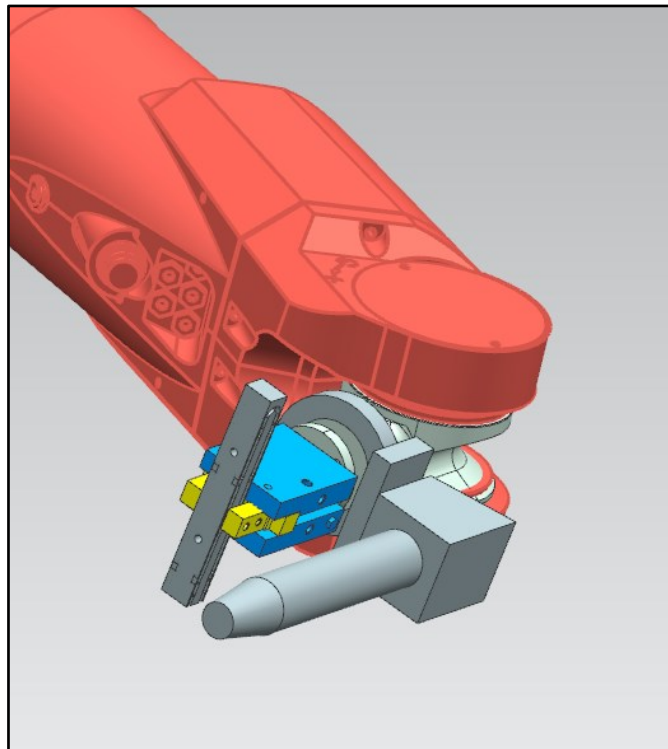


Abb. 63: Darstellung der Systemvariante „Bewegtes Werkzeug“, Quelle: Eigene Darstellung.

Während des Sandstrahlvorgangs wird das Bauteil von einem zweiten, fixmontierten pneumatischen Greifersystem im Inneren der Sandstrahlanlage gehalten. Auf Grund des auftretenden Drucks und der sich daraus ergebenden Eintrittskraft reicht es nicht das Bauteil während der Bearbeitung nur abzulegen, dieses würde davon geschleudert werden.

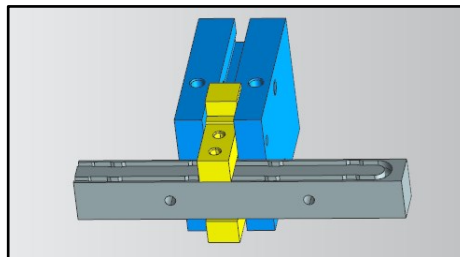


Abb. 64: Bauteilfixierung bei der Systemvariante „Bewegtes Werkzeug“, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Greifersystem für die Bauteilfixierung während der Bearbeitung ist in Abbildung 64 dargestellt. Mit diesem zusätzlichen Greifersystem steigt die Komplexität für die technische Umsetzung deutlich an.

Diese beiden erstellten Systemvarianten werden nun im Folgenden einer Nutzwertanalyse zugeführt und mittels der bereits definierten Kennzahlen bewertet.

6.2.5 Nutzwertanalyse als Entscheidungshilfe

Im Team mit dem Qualitätsmanagement und der Produktionsleitung wurde diese Analyse durchgeführt und ausgewertet. Zuerst wurde mittels Erfahrungswerten und entsprechend der Unternehmensphilosophie die

Gewichtung für die einzelnen Kennzahlen festgelegt, um so deren korrekten Einfluss auf das Ergebnis zu gewährleisten. Für jede Kennzahl wurde dann für die Bewertung ein Zielerfüllungsgrad zwischen 0 und 10 eingetragen, je nach Kennzahl ist die Beurteilung im Kennzahlbeschreibungsblatt eingetragen. Multipliziert man den erarbeiteten Zielerfüllungsgrad mit dem definierten Gewichtungsfaktor so erhält man für jede Kennzahl eines Prozesses einen Teilnutzwert. Aufgrund der Einteilung der Kennzahlen in Hard- und Softfacts erhält man durch Addition der Teilnutzwerte ein qualitatives und ein quantitatives Scoring. Werden die beiden Teilergebnisse eines Prozesses erneut addiert erhält man das finale Gesamtscoreing.¹⁵⁴

6.2.6 Durchführung der Nutzwertanalyse

In Tabelle 19 ist die Durchführung der Nutzwertanalyse dargestellt. Wie bereits beschrieben, wurden die beiden Systemvarianten entsprechende der vorher festgelegten Kennzahlen untersucht und bewertet, mit dem Ziel ein aussagekräftiges Ergebnis für die technische Umsetzung zu erhalten.

		Gewichtungs- faktor	Bewegtes Werkzeug		Bewegtes Werkstück	
			Ziel- erfüllungs- grad	Teilnutz- wert	Ziel- erfüllungs- grad	Teilnutz- wert
Quantitative Kennzahlen	Einfluss auf die Kosten	17	10	170	10	170
	Einfluss auf die technische Umsetzung	8	3	24	8	64
	Einfluss auf die Gestaltung der Roboterzelle	4	4	16	7	28
	Einfluss auf die Anlagenmultifunktionalität	16	2	32	8	128
	Einfluss auf die Prozessfähigkeit	11	4	44	7	77
	Einfluss auf den Materialfluss in der Anlage	9	3	27	8	72
	Einfluss auf den Ausschussanteil	8	4	32	8	64
	Einfluss auf die Produktionszeit	4	5	20	6	24
	Einfluss auf die bestehende Sandstrahlanlage	5	5	25	6	30
i	∑ quantitatives Scoring	82		390		657
Qualitative Kennzahlen	Mitarbeiter- Zufriedenheit	6	7	42	7	42
	Anlagenqualität	12	3	36	8	96
ii	∑ qualitatives Scoring	18		78		138
iii	∑ Gesamtscoreing	100		468		795

Tab. 19: Nutzwertanalyse zur Bewertung der beiden Systemvarianten, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Ergebnis der Nutzwertanalyse zeigt was schon während der Ausarbeitung der Inhalte dieser Masterarbeit deutlich wurde. Die Systemvariante Bewegtes Werkstück hat wesentliche Vorteile gegenüber der Variante Bewegtes Werkzeug und bietet sich für die technische Umsetzung an.

¹⁵⁴ Vgl. Gorecki/Pautsch (2014), S. 89

6.3 Greiferauswahl

Ein entscheidendes Element bei der Konzeptionierung der Automatisierungslösung durch einen Industrieroboter spielt das Greifersystem. In diesem Kapitel sind Anforderungen an den Greifer und seine Backen, die Einflüsse des Prozesses auf das Greifersystem und die Erstellung des Konzeptes für einen geeigneten Greifer analysiert.

6.3.1 Anforderungen an den Greifer

Wie bereits im Kapitel 6.2.4 beschrieben haben die Backen des Greifersystems wesentlichen Einfluss auf die Oberflächenbeschaffenheit des Werkstücks. Es ist darauf zu achten, dass das Wirksystem, wie in Abbildung 65 dargestellt, aus einem Material hergestellt ist damit es am Bauteil zu keinen Abweichungen zur Spezifikation kommt.

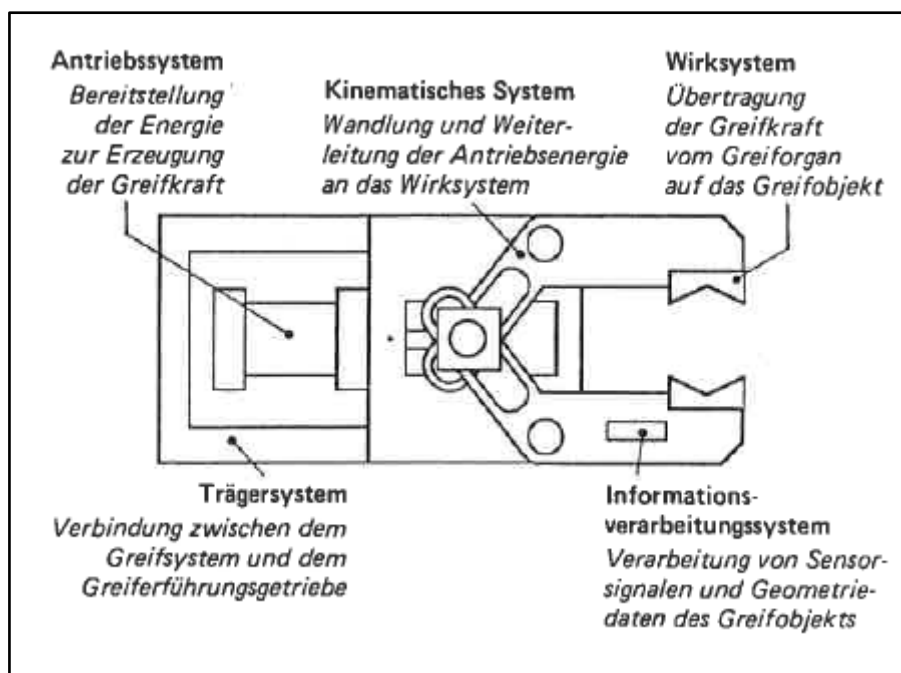


Abb. 65: Schematische Darstellung eines Greifers, Quelle: VDI 2740 Blatt1 (1995), S. 5.

Würden die Backen eine metallische Oberfläche besitzen könnte es auf der Oberfläche der Bauteile zu blanken Stellen kommen, was laut Spezifikation nach der erfolgten externen Oberflächenbehandlung zum Ausschussgrund führt. Das Wirksystem des Greifers wird demnach aus Kunststoffeinsätzen umgesetzt, hierfür wird ein Mechanismus für die schnelle Tauschbarkeit der Einsätze entwickelt. Eine weitere Anforderung an den Greifer sind die auftretenden Kräfte denen gegenüber der Greifer standhalten muss. Es muss gewährleistet sein, dass der Greifer das Bauteil während der Bearbeitung fest genug spannt, dass sich das Bauteil nicht bewegen kann. Dazu werden im nächsten Abschnitt die auftretenden Kräfte dargestellt und analysiert. Des Weiteren muss ein System entwickelt werden welches die gesamte Bandbreite der Bauteilgeometrien der zu bearbeitenden Werkstücke abdeckt. Ebenso wie beim Wirksystem des Greifers ist auch bei den Greiferbacken ein rasches Tauschen dieser notwendig und bei der Konstruktion unbedingt zu berücksichtigen.

6.3.2 Kräfte am Greifer

Die auf den Greifer wirkenden Kräfte sind grundsätzlich in zwei Bereiche einzuteilen. Eine auftretende Kraft ist die Gewichtskraft der Bauteile die zu berücksichtigen ist, in weiterer Folge in Formel (6.1) mit G abgekürzt. Die Berechnung der Gewichtskraft G erfolgt entsprechend der Darstellung in Abbildung 66 über die Multiplikation der Bauteilmasse m mit der Erdbeschleunigung g .

$$G = m \times g \quad (6.1)$$

G/N	m/kg	$g/\text{m s}^{-2}$
Gewichtskraft	Bauteilmasse	Erdbeschleunigung

Als Ergebnis liefert diese Formel, bei einem maximalen Bauteilgewicht von 0,15 kg und einer Erdbeschleunigung von 9,81 m/s², eine Gewichtskraft von 1,47N.

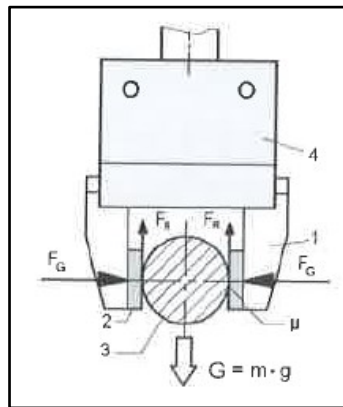


Abb. 66: Darstellung der Greifkraft, Quelle: Hesse (2010), S. 108.

Die zweite zu berücksichtigende Kraftkomponente bei der Auslegung des Greifersystems ist die durch die Bearbeitung mit dem unter Druck stehendem Strahlmedium auftretende Kraft auf der Werkstückoberfläche. In den Seiten 14-18 des Anhangs ist die Herleitung und Berechnung dieser Kraft angeführt, den Verlauf der Kraft in Bezug auf die Größe des Düsendurchmessers ist in Abbildung 67 dargestellt. Der Durchmesser der verwendeten Sandstrahldüse beträgt 5mm, was zu einer auftretenden Kraft von 13,75 N führt.

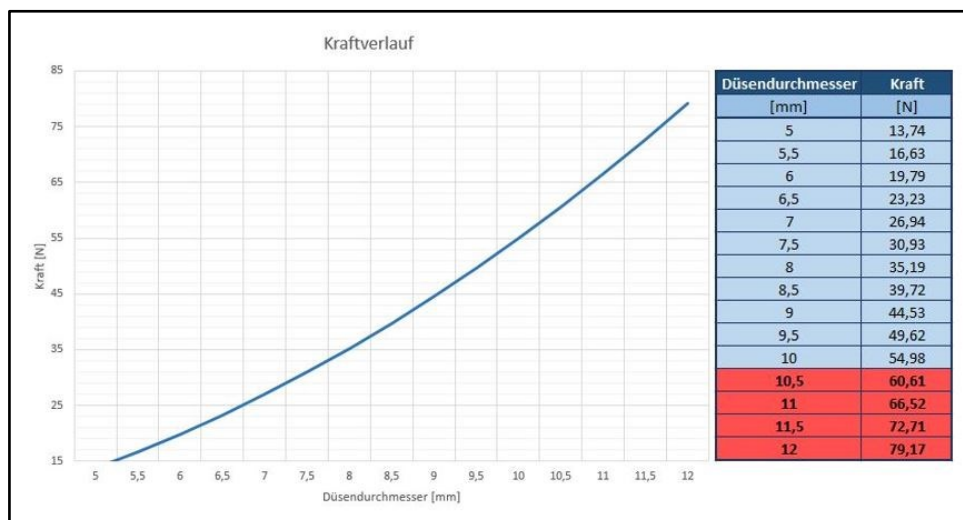


Abb. 67: Verlauf der auftretenden Bearbeitungskraft, Quelle: Eigene Darstellung.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Gewichtskraft der Bauteile gegenüber der auftretenden Bearbeitungskräfte vernachlässigbar klein ist, und somit im weiteren Verlauf der Greiferauswahl nicht berücksichtigt werden muss.

6.3.3 Greiferkonzept

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, spielt die einfache und rasche Tauschbarkeit der Greiferbacken auf Grund der unterschiedlichen Bauteildimensionen eine wesentliche Rolle. Eine weitere Anforderung an die Backen des Greifersystems ist deren Wirksystem, welches keine Spuren in Form von Marken oder blanken Stellen mit sich ziehen darf. In Abbildung 68 ist das Greiferträgersystem mit zwei unterschiedlichen Backenpaaren dargestellt. Die Abbildung zeigt zum einen das Trägersystem mit unterschiedlichen Backenpaaren und darüber hinaus auch das Wirksystem für die Handhabung der sensiblen Bauteiloberflächen.

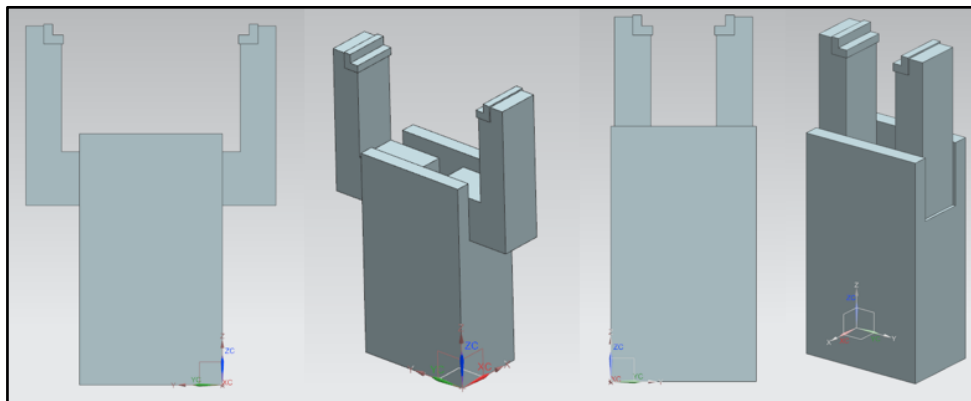


Abb. 68: Greiferstudie mit unterschiedlichen Backen, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Greiferbacken können entsprechend der benötigten Geometrien und Materialien in der internen Fertigung hergestellt werden. Die konstruierten Tauschbacken werden aus Aluminium gefertigt und das Wirksystem aus einem leicht zu zerspanenden Kunststoff.

6.3.4 Greiferauswahl

Bei der Greiferauswahl wurden zwei Modelle des Herstellers SMC heran gezogen und diese wurden hinsichtlich der definierten Anforderungen auf deren zweckmäßigen Einsatz geprüft, die beiden Modelle sind in Abbildung 69 dargestellt.



Abb. 69: Greifer-Modellvarianten des Herstellers SMC, Quelle: SMC (2016), Onlinequelle [01.12.,2016].

Zusammengefasst handelt es sich bei den Anforderungen an das Greifersystem um ein System aus tauschbaren Backenpaaren sowie aus einem tauschbaren Wirksystem, beides soll intern herstellbar sein. Des Weiteren muss eine Kraft von mindestens 13,75N aufgenommen werden können. Da sich der Düsendurchmesser, laut Kapitel 4.1.1, durch die Förderung des abrasiven Strahlgut-Druckluft-Gemisch regelmäßig während des Prozesses aufweitet und die auftretende Kraft entsprechend der Berechnung im Anhang vergrößert, wird mit einem größtmöglichen Düsendurchmesser von 10mm, also einer auftretenden Kraft von 55N, gerechnet. Das bedeutet eine dreifache Sicherheit bei Einsatz einer neuen, nicht mit Verschleiß behafteten Düse. Zum Schutz des Greifersystems gegen das abrasive Strahlgut-Druckluft-Gemisch während der Sandstrahlbearbeitung ist ein Greifer mit ausreichender Schutzart auszuwählen. Seitens des Greiferherstellers werden Greifer mit derartigen Schutzklassen standardmäßig angeboten.

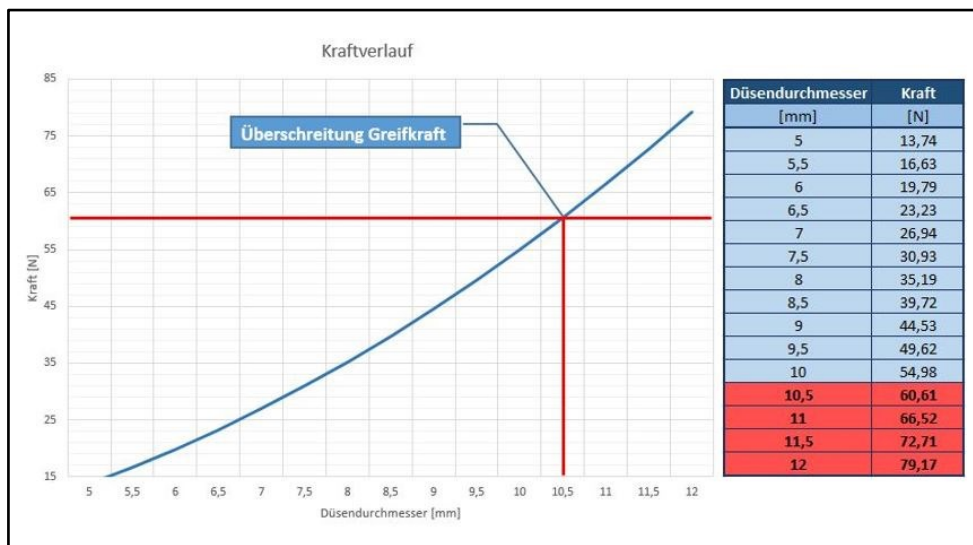


Abb. 70: Verlauf der auftretenden Bearbeitungskraft mit Überschreitung der Greifkraft, Quelle: Eigene Darstellung.

Wie den Datenblättern der Greifer in Anhang 2 und 3 zu entnehmen ist, kann eines der beiden Modelle bereits im Vorhinein ausgeschieden werden, da bei entsprechender Dimensionierung der Geometrie eine maximale Greifkraft von 3,7N zu gering ist, für das Halten des Bauteils ist immer noch eine doppelte Sicherheit geboten, für die auftretende Bearbeitungskraft ist die maximale Greifkraft jedoch viel zu gering. Das zweite Greifermodell ist laut Datenblatt bei entsprechender Dimensionierung mit einer maximalen Greifkraft von 57N ausgestattet, was den Anforderungen entspricht. Eine Überschreitung der Greifkraft beim zweiten Greifermodell ist in Abbildung 70 dargestellt. Die Auswahl des Greifers fällt somit auf das Modell MHZ2-20C(N) vom Hersteller SMC, eine detaillierte Schnittdarstellung dieses Greifers ist in Abbildung 71 gegeben.

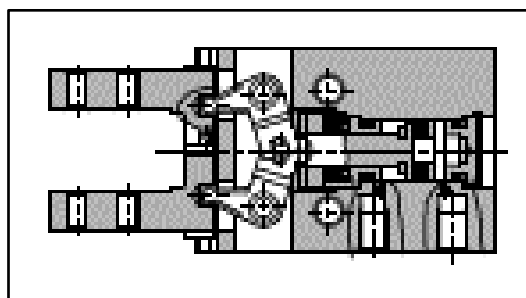


Abb. 71: Schnittansicht des ausgewählten Greifers, Quelle: SMC (2016), Onlinequelle [01.12.,2016].

7 KONSTRUKTIONSPHASE

In diesem Kapitel wird die Konstruktion der Arbeitsumgebung, mitsamt der verwendeten Arbeitsmittel, Teilbereitstellung, Vorrichtungen und vorhandenen Peripherie erstellt und ein Modell für das Konzept dargelegt.

7.1 Konstruktion und Simulation der Arbeitsumgebung

Ziel der Konstruktion ist es ein Layout für die praktische Umsetzung der Automatisierungslösung zu erhalten und die bestehende Arbeitsplatzsituation auf die Tauglichkeit einer Roboteradaption zu überprüfen.

7.1.1 Phasen des methodischen Konstruierens

Bei der Konstruktion des Arbeitsplatzes als konstruktive Übung wird entsprechend VDI 2221 vorgegangen, und der Konstruktionsprozess wird dafür in vier Phasen eingeteilt. Diese vier Phasen sind das Analysieren, das Konzipieren, das Entwerfen und das Ausarbeiten und stellen sich wie folgt dar: ¹⁵⁵

Analysieren

- Erstellung einer Anforderungsliste
- Abstrahierung des zu entwickelnden Systems als Black-Box-Darstellung
- Funktionsanalyse bzw. Gliederung des Gesamtsystems in unabhängige Subsysteme

Konzipieren

- Bildung von Lösungsvarianten zu den Subsystemen mittels Ideenfindungsmethoden
- Entwickeln eines Morphologischen Kastens zum Kombinieren der Einzellösungen
- Bewertung der Varianten mittels Nutzwertanalyse, oder anderen Verfahren, und Festlegung des endgültigen Konzepts

Entwerfen

- Entwickeln von Skizzen der endgültigen Lösung
- Überschlägige Berechnungen zur Festlegung der Bauteildimensionierungen

Ausarbeiten

- Durchführung der notwendigen Berechnungen
- Erstellung der technischen Dokumentationen (Zeichnungen, Stücklisten, usw.)

Im ersten Schritt dieser Phase wird eine Anforderungsliste erstellt. Abbildung 59 in Kapitel 6 zeigt eine entsprechende, überarbeitete Anforderungsliste unter Berücksichtigung von vorab definierten Prioritäten.¹⁵⁶

¹⁵⁵ Vgl. Fleischer (2016), S. 1.

¹⁵⁶ Vgl. Fleischer (2016), S. 1 ff.

Anforderungsliste

Die Anforderungsliste als erste Bestandsaufnahme beinhaltet alle notwendigen konstruktiven Rahmenbedingungen, die aus der Aufgabenstellung resultieren, und von Kundenseite und prozessorientierter Notwendigkeit gefordert werden. Diese Anforderungen können abgebildet zum Beispiel behördliche Vorgaben oder allgemeine Konstruktionsrichtlinien sein. Abbildung 59 in Kapitel 6 stellt die erarbeitete Anforderungsliste für das beschriebene Projekt dar. Die Anforderungen werden einzeln aufgelistet, mit Datum und Verantwortlichkeit gekennzeichnet und entsprechend der prioritären Notwendigkeit eingestuft. Die Prioritäten wurden im Projektvorfeld in Besprechungen definiert. Diese Anforderungsliste ist ein lebendes Dokument und begleitet das Projekt bis zum Schluss, muss daher ständig aktualisiert und gegebenenfalls geändert werden, da sich die Projekt- bzw. Prozessparameter während einer Projektphase laufend ändern.¹⁵⁷

Black-Box-Darstellung

Eine erste grobe Darstellung des zu konzipierenden Systems bietet das Tool der Black-Box-Darstellung. Diese dient zu Beginn der Konstruktionsphasen der unabhängigen Darstellung des zu entwickelnden Systems. Ziel ist es durch unabhängige Betrachtung innovative Lösungsvarianten zu generieren. In Abbildung 72 ist eine schematische Darstellung einer Black-Box-Darstellung gezeigt.¹⁵⁸

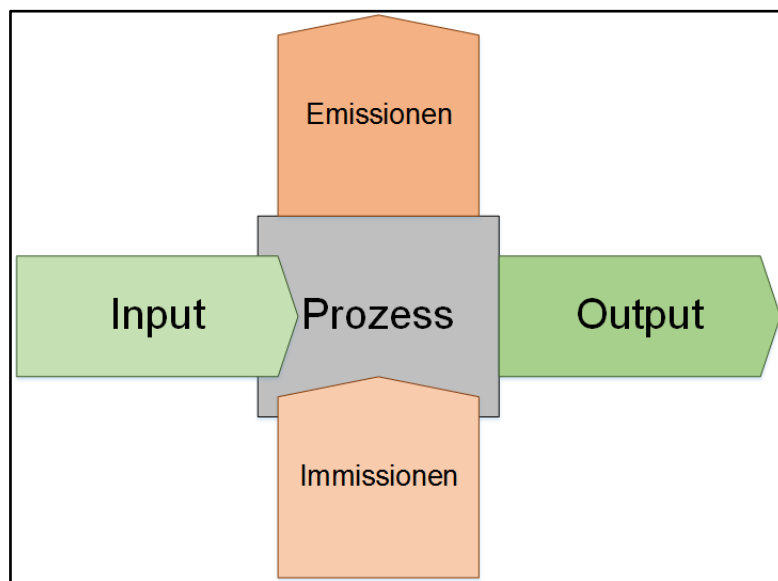


Abb. 72: Black Box Darstellung eines Prozesses, Quelle: Fleischer (2016), S.3 (leicht modifiziert).

Input und Output

Der Input der Black-Box-Darstellung beinhaltet alle Faktoren, hinsichtlich Stoff, Energie und Information, die auf das betrachtete System von außen her einwirken, der Output dem gegenüber umfasst alle vom¹⁵⁹

¹⁵⁷ Vgl. Fleischer (2016), S. 2.

¹⁵⁸ Vgl. Fleischer (2016), S. 2 ff.

¹⁵⁹ Vgl. Fleischer (2016), S. 3.

System ausgehenden Faktoren dieser drei Kategorien. Bei beiden Systemparametern werden die Systemgrenzen überschritten.¹⁶⁰

Emissionen

Unter Emissionen versteht man alle vom System ausgehenden negativen Einflüsse auf die Umwelt. Diese negativen Umwelteinflüsse gilt es im Vorfeld des Projekts zu bestimmen, und bei der weiteren Gestaltung zu berücksichtigen. Emissionen können beispielsweise Unfallgefahren für Prozessmitarbeiter oder Störparameter für andere benachbarte Prozesse sein.¹⁶¹

Immissionen

Bei den Immissionen handelt es sich um alle denkbaren Einflüsse der Umwelt auf das System. Die Immissionen müssen genauso wie die Emissionen bei der Gestaltung berücksichtigt werden. Zu den Immissionen gehören Vorschriften, Richtlinien und behördliche Auflagen ohne deren Einhaltung eine Inbetriebnahme und der Betrieb des Systems nicht durchgeführt werden können. Bei Systemänderungen während der Projektphasen sind Immissionen wie Emissionen an die Änderungen anzupassen.¹⁶²

Funktionsanalyse

Bei der Durchführung der Funktionsanalyse wird die gesamte Aufgabenstellung in einzelne Teilfunktionen zerlegt und somit überschaubarere Einzelprobleme generiert die es zu lösen gilt. Nachdem diese Einzelprobleme gelöst sind können sie am Ende wieder zum komplexen System zusammengesetzt werden.¹⁶³

Bildung von Lösungsvarianten

Zu Beginn der Konzipierungsphase werden für die in der Analyse aufgestellten Teilfunktionen Realisierungsmöglichkeiten gesucht.¹⁶⁴

Morphologischer Kasten

Um Lösungsvarianten gestalten zu können wird ein Morphologischer Kasten erstellt, der es erlaubt eine Vielzahl von genormten und bekannten Ausprägungen der zu erfüllenden Einzelfunktionen zu kombinieren. Durch die mögliche Kombination der einzelnen Ausprägungsstufen können im Anschluss mehrere optimierte Lösungen ermittelt und übersichtlich dargestellt werden. Durch eine Vorauswahl können nun die sinnvollsten Varianten für die weitere Betrachtung herangezogen werden.¹⁶⁵

In Tabelle 20 ist ein morphologischer Kasten für die Konzeption des Automatisierungssystems dargestellt.

¹⁶⁰ Vgl. Fleischer (2016), S. 3.

¹⁶¹ Vgl. Fleischer (2016), S. 3.

¹⁶² Vgl. Fleischer (2016), S. 3.

¹⁶³ Vgl. Fleischer (2016), S. 3 ff.

¹⁶⁴ Vgl. Fleischer (2016), S. 4.

¹⁶⁵ Vgl. Fleischer (2016), S. 4 ff.

Teilfunktion	Ausprägung	2	3	4
	1			
Strategie	Bewegtes Bauteil	Bewegte Strahldüse	Beide Teile bewegt	
Roboterart	Knickarmroboter	SCARA	Hexapod	3-Achs-System
Traglast in kg	<1	1-3	3-5	>5
Unterbau	Fix	Mobil	Nullpunktspannsystem	
Montageart	Decke	Wand	Boden	
Armlänge in mm	<500	500-700	700-900	>900
Greifer	Sauggreifer	Parallelgreifer		
Roboterschutz	Überdruckeinheit	Faltenbalg	Absaugung	
Kabine	Bestehend	Neu		
Sicherheitseinrichtung	Optische Sensoren	konstruktive Maßnahmen		
Teile-bereitstellung	Sortiert	Unsortiert	Sortiert u. Orientiert	
Teileablage	Chaos	wie geliefert	neu abgelegt	
Auftragsmenge Stück	<50	50-250	>250	

Tab. 20: Morphologischer Kasten zur Systemauslegung, Quelle: Eigene Darstellung.

Entsprechend dieser Vorlage zum methodischen Konstruieren wurde prinzipiell während der gesamten Ausarbeitung der Inhalte dieser Masterarbeit vorgegangen, wobei je nach Bedarf einzelne Phasen ausgeprägter und einzelne eher oberflächlicher behandelt wurden. Dieser Leitfaden stellte sich als äußerst hilfreich heraus und wird zukünftig für die Ausarbeitung weiterer Projekte und Konzepte zur Hilfe genommen werden.

7.1.2 Konstruktion mittels 3D-CAD System

Nach der Ermittlung der Anforderungen und der Erstellung des Grobkonzepts werden die gewonnenen Parameter der Konstruktion mittels 3D-CAD System zugeführt. Für die Konstruktion wurde das System in einzelne Subsysteme zerlegt, in Tabelle 21 sind die Subsysteme dargestellt.

Arbeitsumgebung	Boxen für Prozess-Input und Output
Sandstrahlanlage	Vorrichtung für das Umgreifen
Sandstrahldüse	Greifersystem mit Tauschbacken
Import 3D-Bauteil-Modelle	Einrichtung der Arbeitsumgebung
Import 3D-Roboter-Modell	Fügen zur Prozess-Baugruppe
Import 3D-Greifer-Modell	Alternative Systemvarianten

Tab. 21: Aufteilung der Aufgabenstellung in Subsysteme zur vereinzelt Problemlösung, Quelle: Eigene Darstellung.

Im weiteren Verlauf der Konstruktion wird entsprechend der oben angeführten Tabelle vorgegangen und die einzelnen Subsysteme Schritt für Schritt konstruiert.

7.1.3 Durchführung der Konstruktion

Bei der Konstruktion des Konzepts wurde zuerst mit der Nachbildung der Arbeitsumgebung in der Konstruktionsoberfläche begonnen, dazu wurden von den Räumlichkeiten in denen der Prozess Sandstrahlen durchgeführt wird die Maße abgenommen und danach in der Software im Originalmaßstab abgebildet. In Abbildung 73 ist die nachgebildete Arbeitsumgebung dargestellt.

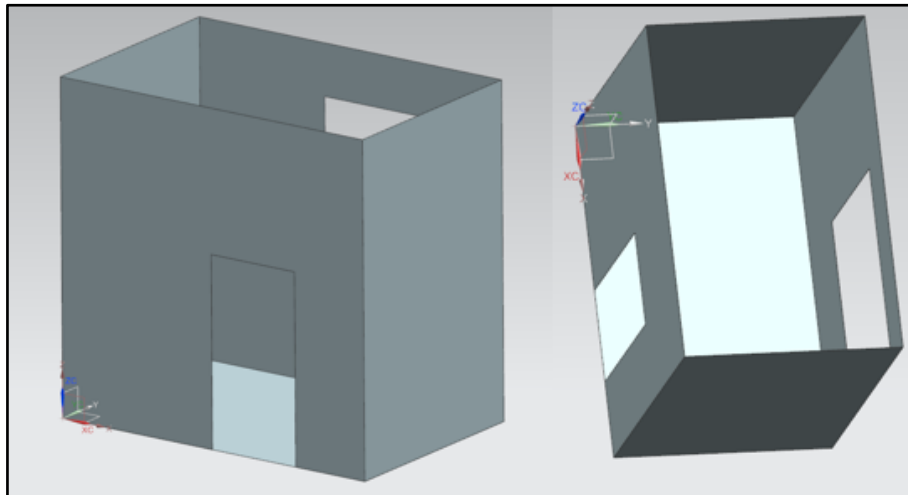


Abb. 73: Konstruierte Arbeitsumgebung, Quelle: Eigene Darstellung.

Danach wurde nach derselben Lösungsmethode die aktuell verwendete Sandstrahlanlage konstruiert. Dieses und alle weiteren Subsysteme wurden wie bereits die Arbeitsumgebung im Originalmaßstab nachgebildet. Abbildung 74 stellt die konstruktive Lösung der Sandstrahlanlage dar.

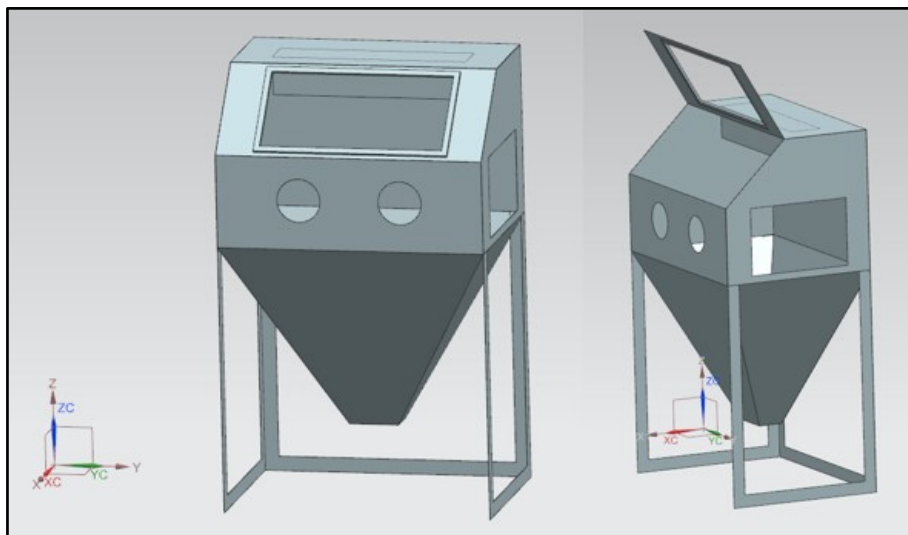


Abb. 74: Konstruierte Sandstrahlanlage, Quelle: Eigene Darstellung.

Nach der Nachbildung der Sandstrahldüse, wurden die 3D-Modelle des Roboters, der Bauteile und des Greifers von den entsprechenden Anbietern im STEP-Format importiert. Weiters wurde die Schutzvorrichtung für das Konzept der Roboterzelle im STEP-Format importiert. Bei dieser Schutzvorrichtung handelt es sich um Profile aus Aluminium die je nach Kundenanforderung eingebaut werden können, und in welche die entsprechenden Schutzelemente wie Schutzzäune oder Platten verbaut

werden können. Nachdem die importierten Files der Komponenten zusammengefügt wurden, wurde mit der Konstruktion der Materialboxen für die Prozessbereitstellung begonnen. Diese Boxen sind in Abbildung 75 dargestellt.

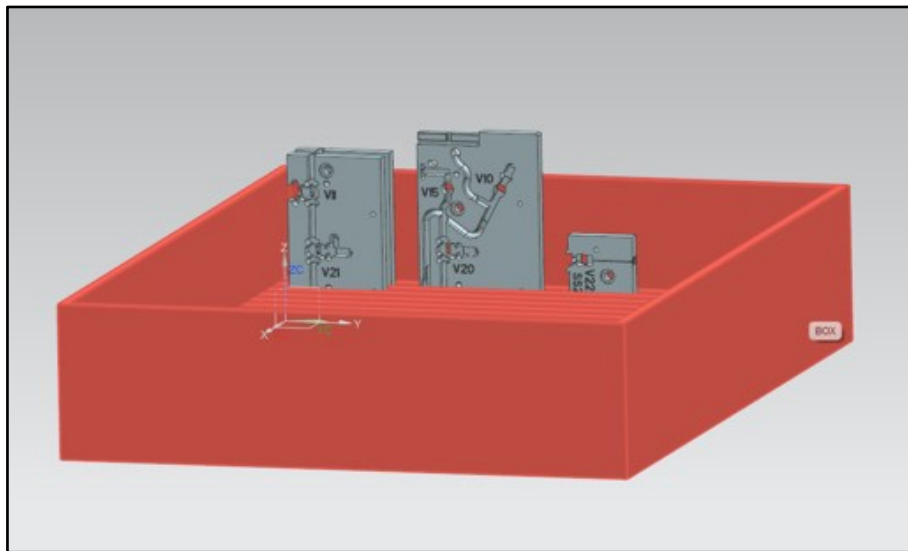


Abb. 75: Black Box Darstellung eines Prozesses, Quelle: Eigene Darstellung.

Wie bereits in Kapitel 6 analysiert wurde, wird für die Komplettbearbeitung der Bauteile eine Vorrichtung für das Umgreifen am Bauteil benötigt. Diese Vorrichtung wurde so ausgelegt, dass alle betrachteten Bauteile auf einer Vorrichtung abgelegt werden können, Abbildung 76 stellt die Vorrichtung dar. Bei der praktischen Umsetzung der Vorrichtung soll als Rohmaterial Aluminium verwendet werden. Dafür ist in weiterer Folge darauf zu achten, dass beim Ablegen der Bauteile zum Umgreifen keine Schäden in Form von blanken Stellen oder Marken und Riefen entstehen. Die Bauteilabmessungen und die dafür benötigten Toleranzen sind bei Projektumsetzung mittels Praxisversuchen zu ermitteln.

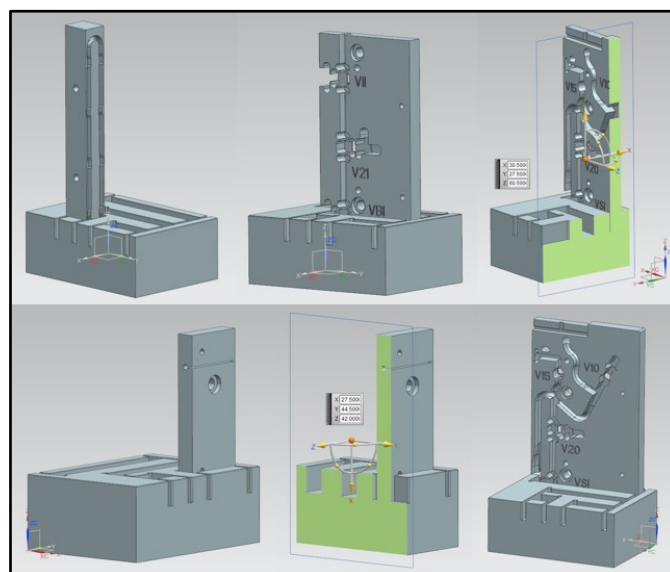


Abb. 76: Konstruierte Vorrichtung für die Bauteilablage in verschiedenen Ansichten, Quelle: Eigene Darstellung.

Danach folgte die konstruktive Umsetzung des Greifersystems in der CAD-Oberfläche. Die Greifer wurden, wie schon im vorangegangenen Kapitel erwähnt, ebenfalls aus dem Rohmaterial Aluminium konzipiert. Für

ein beschädigungsfreies Handhaben der Bauteile wurde das Wirksystem der Greifer aus Kunststoff konzipiert, beide Teile des Greifersystems, das Greiferbackenpaar als auch das Wirksystem, müssen bei einer technischen Umsetzung rasch und einfach zu tauschen sein. Entsprechend diesen Anforderungen wurde, wie in Abbildung 77 dargestellt, das Greifersystem konstruiert.

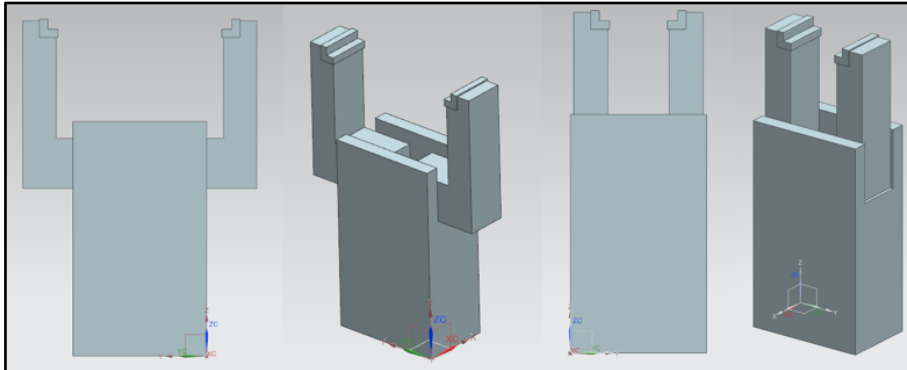


Abb. 77: Konstruierte Vorrichtung für die Bauteilablage in verschiedenen Ansichten, Quelle: Eigene Darstellung.

Nach der schrittweisen Konstruktion der Subsysteme der Arbeitsumgebung und der Roboterperipherie wurde mit der Einrichtung der Arbeitsumgebung und dem Fügen der Bauteile der Hauptteil der Konstruktion durchgeführt. Die Schwierigkeit beim Arbeitsschritt der Zusammenführung der Einzelmodelle bestand in der Dimensionierung der dazu benötigten Vorrichtungen, wie zum Beispiel Regale, Unterbauten oder Befestigungen. Der Platzbedarf für die Bauteil-Handhabung des Industrieroboters während dem Sandstrahlprozess, die Be- und Entladung der Transportboxen mit den Bauteilen sowie das Anfahren der Vorrichtung zum Umgreifen der Bauteile wurde konstruktiv betrachtet und abgeschätzt. Im Anschluss an die Konstruktion ist die erstellte virtuelle Prozesslandschaft in Form einer Simulation zu überprüfen. Dies soll im Anschluss an diese Masterarbeit passieren, und durch den Roboterhersteller erfolgen. In Abbildung 78 ist die virtuelle Arbeitsumgebung dargestellt.

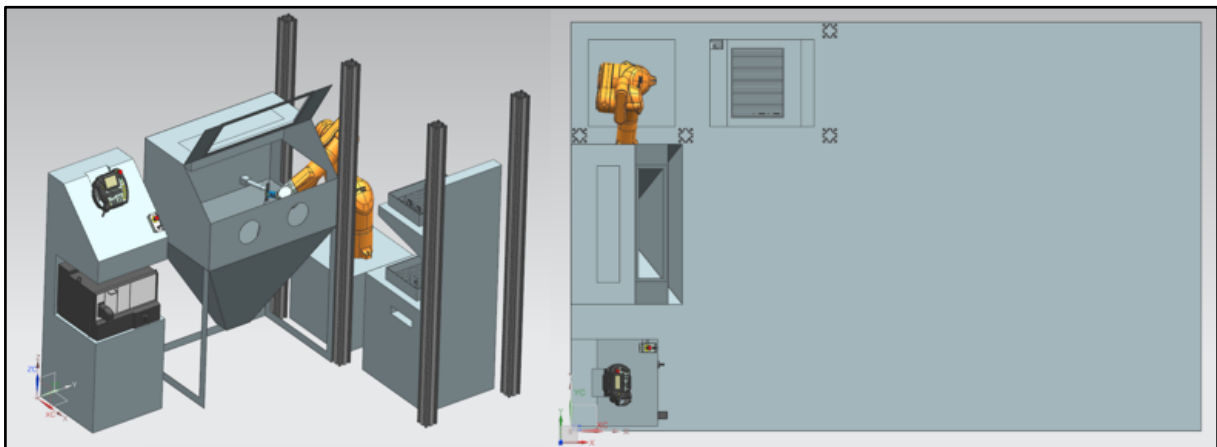


Abb. 78: Konstruiertes Layout der Arbeitsumgebung in Isometrischer Sicht und Draufsicht, Quelle: Eigene Darstellung.

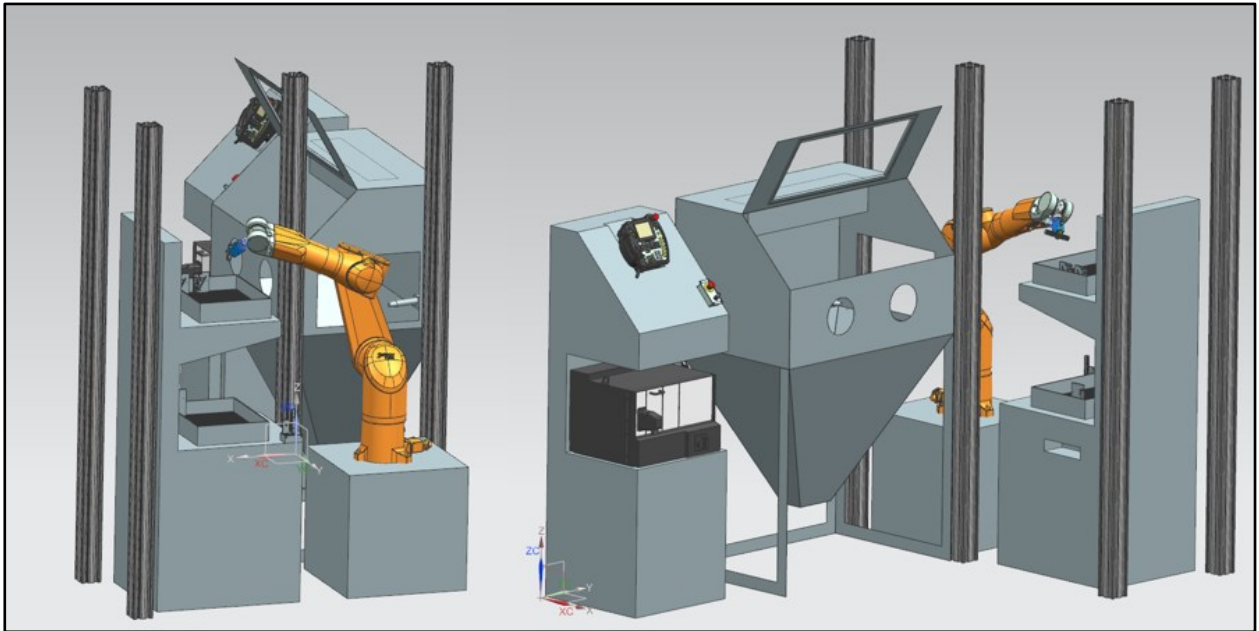


Abb. 79: Konstruiertes Layout der Arbeitsumgebung in Isometrischen Ansichten beim Entladen, Quelle: Eigene Darstellung.

In Abbildung 79 ist der Industrieroboter beim Entladen eines Bauteils an der dafür vorgesehenen Materialbox dargestellt, Abbildung 80 stellt den Beladevorgang des Industrieroboters dar.

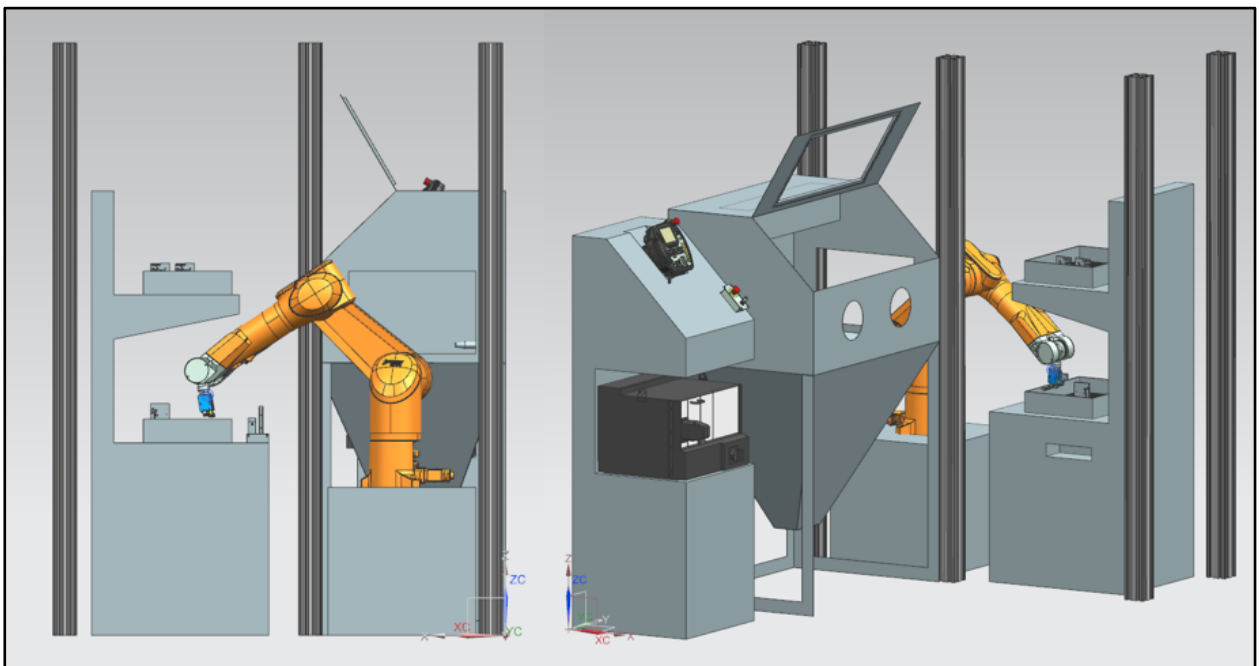


Abb. 80: Konstruiertes Layout der Arbeitsumgebung in Isometrischer und seitlicher Sicht beim Beladen, Quelle: Eigene Darstellung.

7.1.4 Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse

Die erfolgte Simulation liefert das Ergebnis, dass die vom Roboterhersteller vorgeschlagene Technologie in der benötigten Dimension in die bereits bestehende physikalische Prozesslandschaft eingebettet werden kann. Die Bewegungsabläufe, soweit diese mit Hilfe der Konstruktionsmethode nachgebildet werden konnten, können mit dem vorhandenen Platzangebot durchgeführt werden und für alle Komponenten der Peripherie der haben in der geplanten Automatisierungsanlage entsprechend Platz. Die konstruktive

Lösung der sicherheitsrelevanten Aspekte in Form der Schutzvorrichtung aus Aluminiumprofilen, ebenso wie die Dimensionierung der Hilfsvorrichtungen und Unterbauten konnte ohne auftretende Probleme durchgeführt werden. Die Konstruktion liefert, neben der zur Verfügung stehenden Technologie, den zweiten wesentlichen Einflussfaktor einer Machbarkeitsstudie, im nächsten Kapitel dieser Arbeit wird mit der wirtschaftlichen Untersuchung der dritte aussagekräftige Einflussfaktor bestimmt.

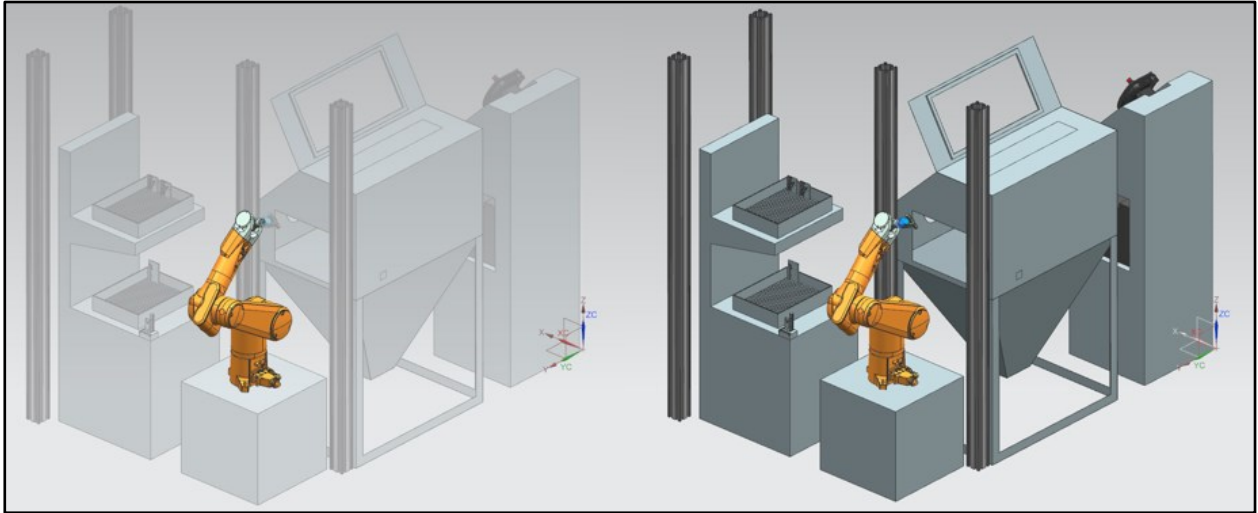


Abb. 81: Konstruiertes Layout der Arbeitsumgebung in Isometrischen Ansichten beim Freifahren, Quelle: Eigene Darstellung.

Bezüglich der Konstruktion sind die Ergebnisse mehr als zufriedenstellend. Alle Anforderungen hinsichtlich Platzbedarf, Machbarkeit des Bewegungsablaufes und Adaption der Hilfsvorrichtungen konnte wie geplant umgesetzt werden. Im weiteren Verlauf dieses Projekts werden sowohl die konstruierten Modelle der Subsysteme als auch die gefügte Arbeitsumgebung an den Roboterhersteller übermittelt, mit dem Ziel einer Bewegungssimulation zur Visualisierung des tatsächlichen Arbeitsablaufes des Roboters. Mit den in Abbildung 81 dargestellten Aufnahmen der Konstruktion kann aber bereits im Vorfeld auf eine positive Durchführung der Simulation geschlossen werden. Hier kann man seitens des Unternehmens auf ausgeprägte Erfahrung der Mitarbeiter durch jahrelange Programmierung von Bearbeitungsabläufen an Bauteilen mittels einer CAM-Oberfläche zurückgreifen.

Im nächsten Kapitel wird nun die Wirtschaftlichkeit des geplanten Konzepts untersucht und den Vorgaben der Geschäftsführung gegenübergestellt.

8 WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG

Um den monetären Aufwand der geplanten Projektumsetzung in Zahlen ausdrücken zu können und Richtwerte für die Unternehmensbereiche Finanzen und Controlling zu erstellen wird in diesem Kapitel eine wirtschaftliche Betrachtung dargestellt. Es wird versucht unter Zuhilfenahme von Forecasts, Annahmen und bekannten Aufwänden eine realistische Finanzierungsstruktur abzubilden.

8.1 Definition der Ausgangszahlen

Zur Durchführung der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit werden zu Beginn dieses Kapitels die Ausgangszahlen als Grundlage für die folgende Berechnung identifiziert und analysiert.

- *Durchschnittliche Lieferungen*

Gibt die durchschnittliche Menge der gelieferten bzw. zu liefernden Losgrößen der betrachteten Bauteile pro Quartal an.

- *Mittel Ist-Stunden Sandstrahlen*

Anzahl der benötigten Mitarbeiterstunden für die Besetzung des manuellen Sandstrahlarbeitsplatzes.

- *Verfügbare Mitarbeiterstunden*

Gibt die Anzahl der zur Verfügung stehenden Arbeitsstunden eines Mitarbeiters, unabhängig von dessen Qualifikation und Ausbildungsgrad, an.

- *Quartalskosten Hilfskraft*

Aufwand pro Quartal in Form des Gehalts für eine Hilfskraft. Basis dafür ist das in Kapitel XX angenommene Jahresgehalt.

- *Quartalskosten Facharbeiter*

Aufwand pro Quartal in Form des Gehalts für eine Fachkraft. Basis dafür ist das in Kapitel XX angenommene Jahresgehalt.

- *Quartalskosten Sandstrahlen mit Hilfskraft*

Aliquoter finanzieller Aufwand für die Betreuung des manuellen Sandstrahlarbeitsplatzes durch eine Hilfskraft.

- *Quartalskosten Sandstrahlen mit Fachkraft*

Aliquoter finanzieller Aufwand für die Betreuung des manuellen Sandstrahlarbeitsplatzes durch eine Fachkraft.

- *Rückzahlung Kredit*

Berücksichtigt den finanziellen Aufwand des Unternehmens für die Rückführung der aufgenommenen finanziellen Mittel durch eine Kreditanstalt.

• *Bedieneranteil Facharbeiter*

Definiert den zeitlichen Aufwand einer geschulten Fachkraft zur Instandhaltung, Wartung und Einrichtung des Roboters. Diese Aufgaben, wie auch das Rüsten, Programmieren, Optimieren sowie die physikalische Änderung der Arbeitsumgebung, bleiben entsprechende der Prozessbeschreibung Sache der Fachkräfte. Die Fachkräfte wurden extern als auch intern für diese Aufgaben geschult.

• *Investitionskosten Roboter*

Gibt die Summe der Investitionskosten des gesamten Projektes an. Inkludiert alle peripheren Kosten, wie Sicherheitsvorrichtungen, Schulungen, Sensoren, etc.

• *Nebenkosten Roboter*

Mit dieser Position wird ein finanzieller Aufwand für zukünftige Ersatzteile, technischen Support durch den Hersteller, usw. bei der Kalkulation berücksichtigt.

8.2 Annahmen für die Konzeptauslegung

Um einen Forecast für die zu produzierenden Losgrößen zu erstellen wurde für den Zeitraum von 1. Juli 2014 bis 30. Juni 2015 ein Auszug der bereits gefertigten Losgrößen aus dem Produktionsplanungssystem generiert. Für die betrachteten sieben Bauteile, die sich wie schon in Kapitel 5 beschrieben ähneln, wurden alle Fertigungsaufträge hinsichtlich Fertigungs-Sollzeiten, Fertigungs-Istzeiten sowie Liefermengen im betrachteten Zeitraum untersucht und ausgewertet. Tabelle 22 zeigt die Auflistung der Fertigungsaufträge mit den wichtigsten Ausgangsgrößen.

Artikel	Bezeichnung	Liefermenge im Zeitraum	Soll Bearbeitungszeit Sandstrahlen aus PPS (min)	Istzeiten (min)	Sollzeit/Jahr (h)	Istzeit/Jahr (h)	Losgröße 220 Stk Dauer in h
'11000125'	'QK-Rinseblock mech.'	550	1	2	9	18	7,33
'15000009'	'QKC Unterteil 2 montiert'	3274	2,4	4	131	218	14,67
'15000010'	'QKC Unterteil 4 montiert'	2423	3	4,5	121	182	16,50
'15000011'	'QKC Unterteil 1 montiert'	3114	2	3	104	156	11,00
'15000012'	'QKC Unterteil 3 montiert'	2553	2	3	85	128	11,00
'15000037'	'QKC BG Unterteil montiert'	368	2,4	4	15	25	14,67
'15000038'	'QKC BG/ISE Unterteil montiert'	829	3	4,5	41	62	16,50
Gesamtergebnis		13111			506	789	

Tab. 22: Auswertung der gefertigten Stückzahlen, Quelle: Eigene Darstellung.

Aus Tabelle 18 geht hervor, dass davon ausgegangen werden kann, dass zukünftig zwischen 12.000 und 15.000 Bauteile pro Kalenderjahr von der konzipierten Anlage abgefertigt werden müssen. Darüber hinaus wird sichtbar, dass mehr als 50% zusätzlicher Personalaufwand für die bisherige Fertigung benötigt wurde.

Um im Weiteren die Automatisierungslösung mit der Variante des bestehenden manuellen Arbeitsplatzes vergleichen zu können wird für die manuelle Fertigung das Mitarbeiterverhältnis von benötigten Fachkräften zu benötigten Hilfskräften mit 1:1 festgelegt. Diese angenommenen Zahlen stützen sich auf bisher gewonnene Erfahrungswerte. Als Kosten für eine Hilfskraft wurden € 36.000 pro Jahr bzw. die für eine Fachkraft als € 45.000 pro Jahr festgelegt. Der verfügbaren Mitarbeiterstunden pro Kalenderjahr wurden wie folgt berechnet.

Formel

Der nächste Schritt war eine Auflistung der anstehenden Investitionskosten auf Grundlage eines unverbindlichen Angebots vom Roboterhersteller. Tabelle 23 zeigt die Aufstellung der wichtigsten Angebotsparameter in Verbindung mit peripheren Investitionskosten.

Investitionskosten	
Stäubli TXL CS8C	€ 31.925,00
Transport und Verpackung	€ 850,00
Überdruckeinheit	€ 750,00
Unterstützung "geführte Werkstücke	€ 640,00
1x Lizenz Development Studio	€ 1.530,00
1 Person Schulung Bayreuth (4,5 T)	€ 1.875,00
Aufenthalt Bayreuth (Nächtigung + Verpflegung)	€ 800,00
Greiferauswahl + Adaptierung	€ 800,00
Schutzgitter und Notauskette/Einbindung Sandstrahlanlage	€ 5.000,00
Summe	€ 44.170,00

Tab. 23: Kostenaufstellung für Systemanschaffung, Quelle: Eigene Darstellung.

Als Summe für die im Anschluss folgende ROI-Berechnung wird ein Investitionsvolumen von € 44,170 festgelegt. Für diese Summe ergibt sich, berechnet auf Basis der Konditionen der finanzierenden Hausbank, eine monatliche Tilgungszahlung von € 1.317 bei einer geplanten Laufzeit von 36 Monaten. Die Summen für die Investition in ein Industrierobotersystem wurden den Anhängen 9 bis 11 entnommen.

8.3 Berechnung der Amortisationsdauer

Die in Abschnitt 8.1 definierten Ausgangszahlen, sowie die Forecasts und Annahmen, werden in diesem Kapitel einer Berechnung der Amortisationsdauer zugeführt. Nach der Berechnung der Tabellenkalkulation in Anhang 4, und der anschließenden graphischen Auswertung der Ergebnisse wird erkennbar, dass eine Amortisation der geplanten Anlage kurz nach Beendigung des Finanzierungszeitraumes eintritt, d.h. nach ca. 3 Jahren und 3 Monaten wird die Anlage im Unternehmen kostensparend arbeiten. Die graphische Darstellung der Amortisationsdauer ist in Abbildung 82 dargestellt.

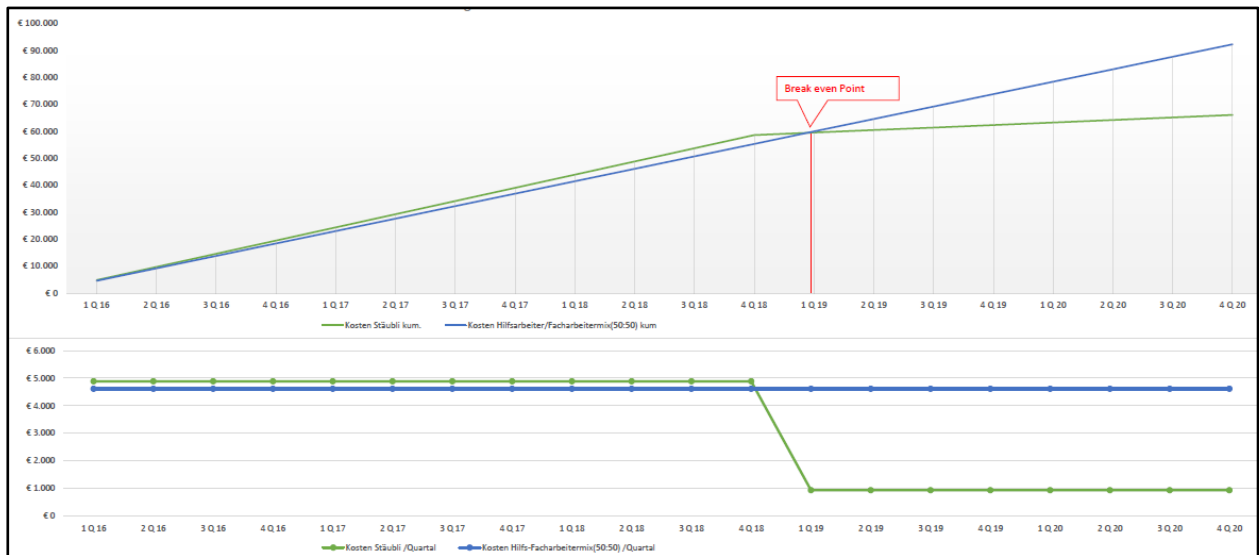


Abb. 82: Graphische Darstellung der Amortisationsdauer, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Ziel der Amortisationsrechnung ist es den Zeitraum für die Wiedergewinnung des für die Investition eingesetzten Kapitals zu ermitteln. Somit ergibt sich nach Formel (8.1) die Amortisationsdauer bzw. –zeit als das Verhältnis von Kapitaleinsatz zu durchschnittlichem, jährlichem Rückfluss, auch Wiedergewinnung oder Cashflow genannt.¹⁶⁶

$$AZ = \frac{KE}{R_j} \quad (8.1)$$

AZ/J	Amortisationszeit
$KE/€$	Kapitaleinsatz
$R_j/\frac{€}{J}$	Durchschnittlicher, jährlicher Rückfluss

Voraussetzung für eine positive Amortisationszeit ist die folgende Bedingung (8.2):¹⁶⁷

$$AZ < ND \quad (8.2)$$

AZ/J	Amortisationszeit
ND/J	Kapitaleinsatz

Das bedeutet die Amortisationszeit einer Investition in Jahren muss geringer sein als die Nutzungsdauer dieser Investition in Jahren, in Abbildung 84 ist die graphische Gegenüberstellung von Kapitaleinsatz und Nutzungsdauer dargestellt. Die Nutzungsdauer entspricht der Zeit innerhalb derer die Investition im Unternehmen genutzt werden kann, der Kapitaleinsatz ist im betrachteten Beispiel mit den Anschaffungskosten gleichzusetzen. Beim Cashflow spricht man vom jährlichen Überschuss der Investition, und dieser beinhaltet den Gewinn durch die Investition bzw. die weitere Kostenersparnis, die kalkulatorischen Abschreibungen pro Jahr und die zusätzlichen kalkulatorischen Zinsen pro Jahr für Eigenkapital. Die Zusammensetzung bzw. die Berechnung des Cashflows ist in Abbildung 83 dargestellt.

¹⁶⁸

¹⁶⁶ Vgl. Voegele (2012), S. 357.

¹⁶⁷ Vgl. Voegele (2012), S. 357.

¹⁶⁸ Vgl. Voegele (2012), S. 357 ff.

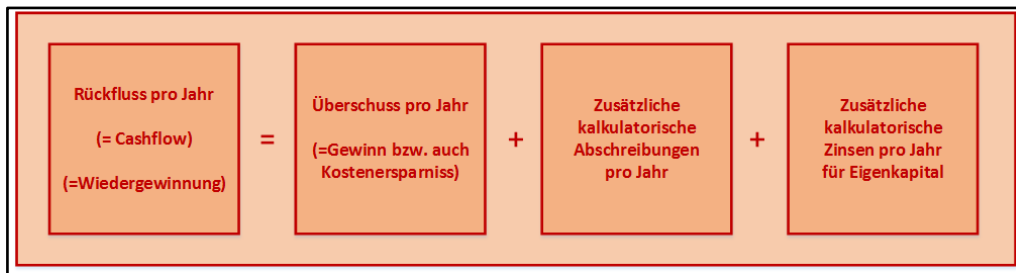


Abb. 83: Darstellung der Cashflow-Berechnung, Quelle: Voegelé (2012), S.359 (leicht modifiziert).

Die Amortisationsrechnung ist keine Wirtschaftlichkeitsberechnung, sondern gibt nur Aufschluss über den Rückgewinnungszeitraum eines eingesetzten Kapitals. Das bedeutet, dass die Amortisationsrechnung nicht auf die Berechnung eines Investitionsüberschusses oder die Vorteilhaftigkeit einer Investition ausgelegt ist, vielmehr dient sie der Abschätzung des Risikos des Kapitaleinsatzes und der Beurteilung deren Einflüsse auf die zukünftige Liquidität.¹⁶⁹

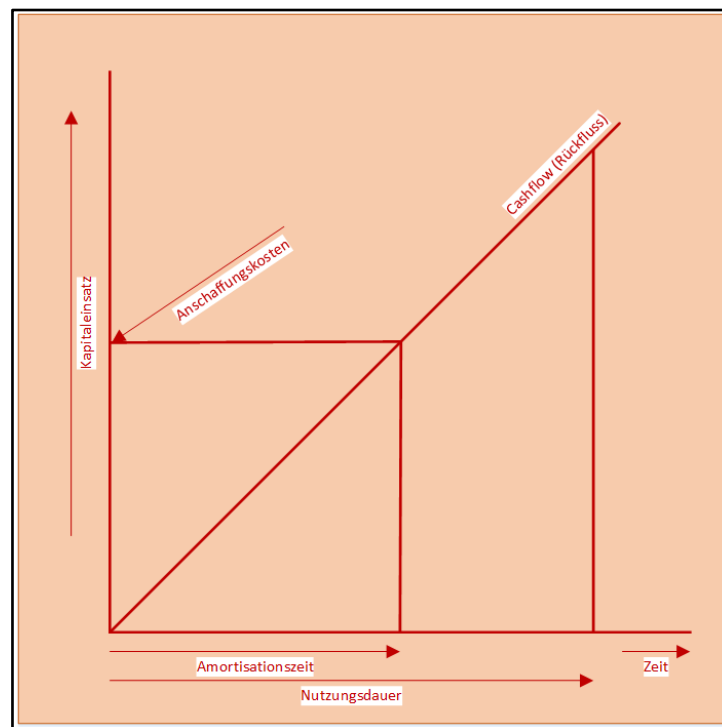


Abb. 84: Gegenüberstellung von Amortisationszeit und Nutzungsdauer, Quelle: Voegelé (2012), S.358 (leicht modifiziert).

8.4 Auswertung und Verifizierung der Ergebnisse

Sowohl das Investitionsvolumen als auch die Amortisationsdauer befinden sich innerhalb der Vorgaben der Geschäftsführung. Auf Grund der ausgezeichneten Referenzen welche der Hersteller Stäubli auszuweisen hat und der verfügbaren Erfahrungsberichte im Umgang mit deren Equipment, wird empfohlen diese Technologie für die technische Umsetzung im Unternehmen anzuschaffen. Somit sind die wirtschaftlichen Ziele dieser Arbeit erreicht und die Umsetzung des Konzepts kann entsprechend der Ausarbeitung durchgeführt werden.

¹⁶⁹ Vgl. Voegelé (2012), S. 359 ff.

9 ERKENNTNISSE UND AUSBLICK

Das letzte Kapitel dieser Masterarbeit beschäftigt sich mit den Erkenntnissen die während der Erarbeitung der Inhalte gewonnen wurden, einem persönlichen Resümee und einem Ausblick auf die folgende technische Umsetzung samt Empfehlungen ans Unternehmen.

9.1 Zusammenfassung

Ausschlaggebend für die Themenauswahl ist eine intern bereits seit Längerem im Raum stehende Diskussion bezüglich einer Lösung für die Durchführung des Prozesses Sandstrahlen. Die Qualität der bearbeiteten Bauteile in Zusammenhang mit der komplexen Umsetzung der Kundenanforderungen, sowie die Bindung des Facharbeiterpersonals an diesen Prozess machen eine Untersuchung auf Standardisierung bzw. Automatisierung notwendig.

Nachdem in der Definition der Aufgabenstellung und der Analyse der Ausgangssituation die Problemstellung ausführlich dargelegt wird, werden die gegebenen Prozessparameter einer Konzeptstudie zur Machbarkeit hinsichtlich der Prozessautomatisierung mittels Industrieroboter zugeführt. Die in der Prozessanalyse dargestellte, vorhandene Arbeitsumgebung soll Grundlage für das Konzept sein, und in weiterer Folge als Vorgabe der Geschäftsleitung mit neuen Technologien adaptiert werden. Bei der Erstellung des Konzeptes wird vor allem auf eine Multifunktionalität der geplanten Anlage abgezielt. Für die technische Umsetzung des Konzepts werden 2 Systemvarianten erarbeitet, welche dann gegenübergestellt und bewertet werden. In Form einer Anforderungsliste werden die Anforderungen der beteiligten Personen ermittelt und prioritär beurteilt, und im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden diese Anforderungen in Kennzahlen für eine spätere Bewertung überführt. Nach der Durchführung der Variantenbewertung mittels Nutzwertanalyse werden die Ergebnisse ausgewertet, mit der Erkenntnis, dass alle technischen Anforderungen mindestens erfüllt werden. Mit den Ergebnissen der Konzeptphase wird die konstruktive Lösung der Aufgabenstellung in der internen Konstruktionsoberfläche durchgeführt. Danach folgt die wirtschaftliche Beurteilung der Konzept- und Konstruktionsstudie durch eine Berechnung des tatsächlich anfallenden Investitionsvolumens sowie die Amortisationszeit der Investition, mit dem Ergebnis, dass diese ebenfalls den Vorgaben entsprechen.

9.2 Gewonnene Erkenntnisse

Beim Verfassen dieser Arbeit sind zahlreiche Erkenntnisse gewonnen worden, teilweise konnten diese bereits im Unternehmen umgesetzt werden. Die Inhalte dieser Masterarbeit haben bereits in der Konzeptphase zu einer möglichen Arbeitsplatzautomatisierung nachhaltigen Erfolg für das Unternehmen Stadler Sensorik CNC-Technik GmbH geführt.

Die ersten Erkenntnisse wurden bereits beim Erstellen des Theorieteils gewonnen. Zum einen sind einzuhaltende Normen und Vorschriften ein großes Kapitel bei der technischen Umsetzung dieses Projektes. Hinsichtlich dieser zugrundeliegenden Anforderungen ist unternehmensintern kein bzw. nur wenig Knowhow vorhanden, in diesem Bereich muss die entsprechende Zeit für die Ansammlung von Wissen und Erfahrung eingeräumt werden. Eine weitere wesentliche Erkenntnis wurde im Zuge der Beschreibung der theoretischen Grundlagen der Sandstrahltechnik gewonnen. Um Maschinen und

technisches Equipment vor dem verwendeten Sandstrahlmedium optimal zu schützen, stehen standardmäßig nur wenige gut funktionierende Systeme zur Verfügung. Durch einen Besuch der Industriemesse Smart Automation Austria ist man auf das passende System aufmerksam geworden.

Nach einer detaillierten Analyse des betrachteten Prozesses zu Beginn des Praxisteils, bei dem das Bewusstsein auf die von Kundenseiten geforderte Qualität gestärkt wurde, wurden das Potenzial des Prozesses und seine Schwachstellen analysiert. Bei Betrachtung der Schwachstellen kristallisierte sich rasch der Einfluss des ausführenden Facharbeiters heraus, was für eine Automatisierungslösung spricht. Seitens der Produktionsplanung war die Untersuchung eines Soll- und Istzeiten-Vergleichs eine entscheidende Erkenntnis, die berechneten Zeiten konnten bereits im ERP-System korrigiert werden, was sich bereits nachhaltig auf die Maschinenbelegung auswirkt.

9.3 Persönliches Resümee

Mit dieser Arbeit wurden Stärken und Schwächen der betrachteten Prozesse dokumentiert, in Zahlen ausgedrückt und somit deren Wichtigkeit bzw. Notwendigkeit unterstrichen. Darüber hinaus konnte gemeinsam mit den an der Befragung teilnehmenden Mitarbeitern das Bewusstsein und die Akzeptanz für Automatisierung im Unternehmen gesteigert werden. Die Arbeiten an dieser Masterarbeit konnten planmäßig durchgeführt werden, bei der Untersuchung der Inhalte sind keine Probleme aufgetreten.

9.4 Ausblick auf die technische Umsetzung

Das ausgearbeitete Konzept zur Automatisierung des manuellen Sandstrahlarbeitsplatzes durch Einsatz eines Industrieroboters wurde der Geschäftsführung vorgelegt und präsentiert. Die Ergebnisse entsprechen seitens des Verfassers den Vorgaben und sind äußerst zufriedenstellend. Auf Basis dieser Masterarbeit soll im Weiteren eine technische Umsetzung des Konzeptes realisiert werden. Die technische Umsetzung soll im Wesentlichen nach dem Aufbau dieser Masterarbeit ablaufen und Werkzeuge und Analysen daraus anwenden.

Qualitative Prozessparameter, wie die optischen Oberflächen nach der Bearbeitung sind vorrangig einzuhalten und gegebenenfalls zu verbessern. Quantitative Parameter wie z.B. die zu produzierenden Stückzahlen können primär vernachlässigt werden, sofern eine Bearbeitung im mannlosen Betrieb realisiert werden kann und sich für die bedienenden Mitarbeiter wieder neue Kapazitäten erschließen.

Nach Möglichkeit sollen mechanische Bauteile wie Greiferbacken für das Teilehandling, Befestigungsmaterialien, Logistikbehälter und Montagehilfen in vollem Umfang in der hauseigenen Fertigung produziert werden - dies gilt es bei der Realisierung zu beachten. Bei der Auswahl des Industrieroboters für die Umsetzung dieses Projektes wird empfohlen auf die angebotene Technologie vom Hersteller Stäubli zurück zu greifen.

Die nächsten Schritte sind die in einzelne Prozessgruppen zerlegten Maschinenmodule im Rahmen von betriebsinternen Projekten zu erarbeiten und diese Modelle einer Realisierung zuzuführen.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke (24)

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.e.V., DIN (Hrsg.) (2001): *Beschichtungsstoffe*, 1. Auflage, Vincentz Verlag, HANNOVER

Albers, Sönke; Gassmann, Oliver (2005): *Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement*, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler/GWH Fachverlage GmbH, Wiesbaden

Arno Voegelé, Lutz (2012): *Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure*, 1. Auflage, Hanser Fachbuch Verlag, München

Becker, Torsten (2008): *Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren*, 2., neu überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin

Beier, Hans-Michael (1999): *Handbuch Entrgrattechnik*, Carl Hanser Verlag, München

Dillmann, Rüdiger; Huck, Martin (1991): *Informationsverarbeitung in der Robotik*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg

Fleischer, Bernhard (2016): *Entwickeln Konstruieren Berechnen*, 5. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden

Fleißmann, Jürgen; Orth, Helmut (2002): *Angewandte Chemie und Umwelttechnik für Ingenieure*, 2. Auflage, ecomed SICHERHEIT in der ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg/Lech

Gorecki, Pawel; Pautsch, Peter (2014): *Praxisbuch Lean Management*, 2., überarbeitete Auflage, Carl Hanser Verlag, München

Görtz, Marcus; Martin, Hessler (2007): *Basiswissen ERP-Systeme*, W3L-Verlag, Dortmund

Hartschen, Michael (2009): *Innovationsmanagement - Die 6 Phasen von der Idee zur Umsetzung*, GABAL Verlag GmbH, Offenbach

Haun, Matthias (2007): *Handbuch Robotik*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Heidelberg

Hesse, Stefan (2008): *Handhabungstechnik von A-Z*, TZ-Verlag-Print-GmbH, Plauen

Hesse, Stefan (2010): *Taschenbuch Robotik Montage Handhabung*, Carl Hanser Verlag München, München

Hesse, Stefan (1996): *Robotik*, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden

Hesse, Stefan (2013): *Grundlagen der Handhabungstechnik*, 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Hanser Verlag, München

Hofmann, Hansgeorg; Spindler, Jürgen (2015): *Verfahren in der Beschichtungs- und Oberflächentechnik*, 3., überarbeitete Auflage, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München

Müller-Prothmann, Tobias (2014): *Innovationsmanagement*, 3. Auflage Auflage, Carl Hanser Verlag München, München

Sascha Klappert, Günther (2011): *Technologiemanagement*, Zweite Auflage Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Heidelberg

Schurr, Michael; Scheil, Michael; von Kiparski, Rainer; Sauer, Josef (2013): *Arbeitsschutz von A-Z*, Haufe Lexware

Strunz, Matthias (2012): *Instandhaltung - Grundlagen Strategien Werkstätten*, Springer Verlag Berlin Heidelberg, Berlin Heidelberg

Wannenwetsch, Helmut (2005): *Vernetztes Supply Chain Management - SCM-Integration über die gesamte Wertschöpfungskette*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin Heidelberg

Weber, Wolfgang (2009): *Industrieroboter Methoden der Steuerung und Regelung*, Carl Hanser Verlag, München

Weck, Manfred (2005): *Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin Heidelberg

Online-Quellen (2)

KIESS GmbH & CoKG (2016): www.kiess.de

<http://www.kiess.de/media/grundlagen-strahltechnik/2-strahlverfahren/22-druckstrahlen/222-injektionsstrahlen-injektorstrahlen/?L=0> [Stand: 01.12.2016]

Stadler Senorik CNC-Technik GmbH (2016): *Stadler Senorik CNC-Technik GmbH*
www.stadlercnc.at [Stand: 01.12.2016]

Normen (4)

Arbeit, Bundesministers (Hrsg.) (2004): *309. Verordnung: Verordnung explosionsfähige Atmosphären – VEXAT: 309. Verordnung: Verordnung explosionsfähige Atmosphären – VEXAT*

Normungsinstitut, Österreichisches (Hrsg.) (2015): *ÖNORM EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen*

Ingenieure, VDI (Hrsg.) (1995): *VDI 2740 Blatt 1: VDI 2740 Blatt 1 Mechanische Einrichtungen in der Automatisierungstechnik - Greifer für Handhabungsgeräte und Industrieroboter*

Ingenieure, VDI (Hrsg.) (1990): *VDI 2860: Montage- und Handhabungstechnik Handhabungsfunktionen u. Einrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole*

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Input- und Output-Darstellung beim Prozess Sandstrahlen, Quelle: Eigene Darstellung.	1
Abb. 2: Untersuchungsdesign der Masterarbeit, Quelle: Eigene Darstellung.....	2
Abb. 3: Strategiepyramide einer Unternehmung, Quelle: In Anlehnung an Wannenwetsch (2005),S. 382.	4
Abb. 4: Unternehmensbereich F&E als Schnittmenge von Technologie- und Innovationsmanagement, Quelle: Eigene Darstellung.....	6
Abb. 5: Einflüsse auf die Bereiche Technologie- und Innovationsmanagement, Quelle: Albers/Gassmann (2005), S. 6 (leicht modifiziert).	7
Abb. 6: Schematische Darstellung eines Einzelprozesses innerhalb des Systems, Quelle: ÖNORM EN ISO 9001 A. 2015-11-15 (2015).	8
Abb. 7: Einteilung der Handhabungsgeräte, Quelle: Eigene Darstellung.	9
Abb. 8: Spezifikationen von Handhabungsgeräten, Quelle: Weck (2005).	10
Abb. 9: Darstellung eines Manipulators mit Achskennzeichnung, Quelle: Ergonomic Partners (2016), Onlinequelle [01.12.2016].....	11
Abb. 10: Darstellung eines Einlegegeräts mit optischer Teilerkennung, Quelle: Robini Hannover (2016), Onlinequelle [01.12.2016].....	12
Abb. 11: Anzustrebende Ziele bei der Handhabung von Material im Prozessablauf, Quelle: Hesse (2008), S. 8 (leicht modifiziert).	13
Abb. 12: Roboter beim Einsatz im Tunnelbau, Quelle: Hesse (1996), S. 36.	15
Abb. 13: Arbeitsfläche eines Drehgelenkroboters in Z-Achse, Quelle: Hesse (2010), S. 39.	17
Abb. 14: Beispiel für die Ausführung eines Flächenportalroboters, Quelle: Hesse (2010), S. 310.	19
Abb. 15: Beispiel für die Ausführung eines Gelenkarmroboters, Quelle: Stäubli (2016), Onlinequelle [01.12.2016].....	19
Abb. 16: Beispiel für die Ausführung eines Scara-Roboters, Quelle: Stäubli (2016), Onlinequelle [01.12.2016].....	20
Abb. 17: Beispiel für die Ausführung eines Parallelroboters, Quelle: Hesse (2008), S. 299.	22
Abb. 18: Beispiel für die Ausführung eines Pendelarmroboters, Quelle: Hesse (2008), S. 300.	23
Abb. 19: Marktgängige Industrierobotertypen, Quelle: Hesse (2010), S. 41.	24
Abb. 20: Darstellung der Rechte-Hand-Regel, Quelle: Hesse (2010), S. 164.	25
Abb. 21: Roboter Koordinatensysteme, Quelle: Hesse (1996), S. 61.....	26
Abb. 22: Flansch-Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 166.....	26
Abb. 23: Flansch-Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S 167.....	27
Abb. 24: Achsspezifisches Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 165.....	27

Abb. 25: Basis-Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 166.	28
Abb. 26: Werkzeugkorrektur, Quelle: Hesse (2010), S. 168.	29
Abb. 27: Flansch-Koordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 169.	30
Abb. 28: Schematische Darstellung der möglichen Freiheitsgrade, Quelle: In Anlehnung an Hesse (2008), S. 65.	30
Abb. 29: Schematische Darstellung der zulässigen Lasten, Quelle: Hesse (1996), S. 65 (leicht modifiziert).	31
Abb. 30: Programmierhandgerät Stäubli SP2, Quelle: Stäubli (2016), Onlinequelle [01.12.2016].	35
Abb. 31: Prinzip eines elektromechanischen Roboterantriebs, Quelle: Hesse (1996), S. 82 (leicht modifiziert).	37
Abb. 32: Wichtige Greifertypen von Industrierobotern, Quelle: Hesse (2010), S. 104.	38
Abb. 33: Greiferkoordinatensystem, Quelle: Hesse (2010), S. 92.	39
Abb. 34: Einteilung der Strahlverfahren, Quelle: Kiess (2016), Onlinequelle [01.12.2016].	44
Abb. 35: Schematische Darstellung des Trockendruckluftstrahlverfahrens, Quelle: In Anlehnung an Beier (1999), S. 124.	45
Abb. 36: Schematische Darstellung einer Düse nach dem Injektorstrahlprinzip, Quelle: Kiess (2016), Onlinequelle [01.12.2016].	46
Abb. 37: Einteilung der Vorbehandlungsverfahren, Quelle: Hofmann (2015), S. 31 (leicht modifiziert). ...	49
Abb. 38: Einteilung der Vorbehandlungsverfahren, Quelle: Hofmann (2015), S. 34 (leicht modifiziert). ...	49
Abb. 39: Vexat-Dokument Kopfbereich, Quelle: Eigene Darstellung.	54
Abb. 40: Vexat-Dokument Kopfbereich, Quelle: Eigene Darstellung.	55
Abb. 41: Zeichnungsableitung der betroffenen Bauteile als vergleichbare Gegenüberstellung, Quelle: Eigene Darstellung.	56
Abb. 42: Bauteile der betrachteten Bauteilreihe QKC, Quelle: Eigene Darstellung.	57
Abb. 43: Transportbox mit fertigen Frästeilen, Quelle: Eigene Darstellung.	57
Abb. 44: Manuelle Handhabung der Bauteile nach dem Sandstrahlprozess, Quelle: Eigene Darstellung.	58
Abb. 45: Manueller Sandstrahlvorgang, Quelle: Eigene Darstellung.	58
Abb. 46: Gewünschtes Oberflächenergebnis nach dem Sandstrahlprozess, Quelle: Eigene Darstellung.	58
Abb. 47: Isometrische Darstellung der Baugruppe AG/AGCI-Platte, Quelle: Eigene Darstellung.	58
Abb. 48: Schematische Darstellung der aktuellen Prozessgruppen, Quelle: Eigene Darstellung.	59
Abb. 49: Schematische Darstellung des aktuellen Prozessablaufes als Flow-Chart, Quelle: Eigene Darstellung.	60
Abb. 50: Bearbeiteter Bauteil nach dem Sandstrahlprozess, Quelle: Eigene Darstellung.	61

Abb. 51: Kennzahlensystem zur Produktionssteuerung, Quelle: Eigene Darstellung.	62
Abb. 52: Vergleich der Vorgabe- und Fertigungszeiten, Quelle: Eigene Darstellung.	65
Abb. 53: Vergleich der Vorgabe- und Fertigungszeiten, Quelle: Eigene Darstellung.	65
Abb. 54: Isometrische Darstellung der Baugruppe AG/AGCI-Platte, Quelle: Eigene Darstellung.	66
Abb. 55: Auszug an Beispielen von Ausschussteilen durch fehlerhafte, externe Arbeiten, Quelle: Eigene Darstellung.	67
Abb. 56: Ishikawa-Diagramm mit Prioritätenvergabe, Quelle: Eigene Darstellung.	68
Abb. 57: Industrieroboter Stäubli TX60L CS8C, Quelle: Stäubli (2016), Onlinequelle [01.12.2016].	73
Abb. 58: Beispiele aus dem Bauteilspektrum des Prozesses Sandstrahlen, Quelle: Eigene Darstellung.	74
Abb. 59: Prozessablaufplan beim automatisierten Prozess Sandstrahlen, Quelle: Eigene Darstellung. ...	75
Abb. 60: Anforderungsliste für die Automatisierung des Prozesses Sandstrahlen, Quelle: Eigene Darstellung.	77
Abb. 61: Darstellung der Systemvariante „Bewegtes Werkstück“, Quelle: Eigene Darstellung.	80
Abb. 62: Darstellung der Systemvariante „Bewegtes Werkstück“ mit fixierter Sandstrahldüse, Quelle: Eigene Darstellung.	81
Abb. 63: Darstellung der Systemvariante „Bewegtes Werkzeug“, Quelle: Eigene Darstellung.	82
Abb. 64: Bauteilfixierung bei der Systemvariante „Bewegtes Werkzeug“, Quelle: Eigene Darstellung.	82
Abb. 65: Schematische Darstellung eines Greifers, Quelle: VDI 2740 Blatt1 (1995), S. 5.	84
Abb. 66: Darstellung der Greifkraft, Quelle: Hesse (2010), S. 108.	85
Abb. 67: Verlauf der auftretenden Bearbeitungskraft, Quelle: Eigene Darstellung.	85
Abb. 68: Greiferstudie mit unterschiedlichen Backen, Quelle: Eigene Darstellung.	86
Abb. 69: Greifer-Modellvarianten des Herstellers SMC, Quelle: SMC (2016), Onlinequelle [01.12.,2016].	86
Abb. 70: Verlauf der auftretenden Bearbeitungskraft mit Überschreitung der Greifkraft, Quelle: Eigene Darstellung.	87
Abb. 71: Schnittansicht des ausgewählten Greifers, Quelle: SMC (2016), Onlinequelle [01.12.,2016]. ...	87
Abb. 72: Black Box Darstellung eines Prozesses, Quelle: Fleischer (2016), S.3 (leicht modifiziert).	89
Abb. 73: Konstruierte Arbeitsumgebung, Quelle: Eigene Darstellung.	92
Abb. 74: Konstruierte Sandstrahlanlage, Quelle: Eigene Darstellung.	92
Abb. 75: Black Box Darstellung eines Prozesses, Quelle: Eigene Darstellung.	93
Abb. 76: Konstruierte Vorrichtung für die Bauteilablage in verschiedenen Ansichten, Quelle: Eigene Darstellung.	93

Abb. 77: Konstruierte Vorrichtung für die Bauteilablage in verschiedenen Ansichten, Quelle: Eigene Darstellung.	94
Abb. 78: Konstruiertes Layout der Arbeitsumgebung in Isometrischer Sicht und Draufsicht, Quelle: Eigene Darstellung.	94
Abb. 79: Konstruiertes Layout der Arbeitsumgebung in Isometrischen Ansichten beim Entladen, Quelle: Eigene Darstellung.	95
Abb. 80: Konstruiertes Layout der Arbeitsumgebung in Isometrischer und seitlicher Sicht beim Beladen, Quelle: Eigene Darstellung.	95
Abb. 81: Konstruiertes Layout der Arbeitsumgebung in Isometrischen Ansichten beim Freifahren, Quelle: Eigene Darstellung.	96
Abb. 82: Graphische Darstellung der Amortisationsdauer, Quelle: Eigene Darstellung.	100
Abb. 83: Darstellung der Cashflow-Berechnung, Quelle: Voegele (2012), S.359 (leicht modifiziert).	101
Abb. 84: Gegenüberstellung von Amortisationszeit und Nutzungsdauer, Quelle: Voegele (2012), S.358 (leicht modifiziert).	101

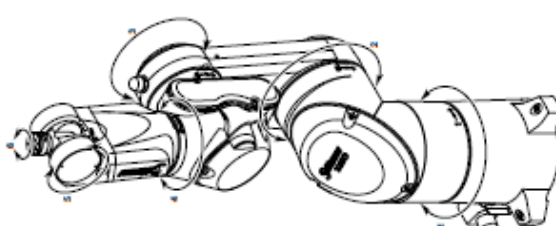
TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Bestimmung der technologischen Ziele durch Aufspaltung in technische Teilfunktionen mittels Morphologischen Kasten, Quelle: Eigene Darstellung.	3
Tab. 2: Komponenten eines Robotersystems, Quelle: Dillmann (1991), S. 22 (leicht modifiziert).	16
Tab. 3: Robotertypen mit Konfiguration, Quelle: Eigene Darstellung.	18
Tab. 4: Anwendungsbeispiele für Gelenkarmroboter, Quelle: Eigene Darstellung.	20
Tab. 5: Anwendungsbeispiele für Schwenkarmroboter, Quelle: Eigene Darstellung.	21
Tab. 6: Anwendungsbeispiele für Parallelroboter, Quelle: Eigene Darstellung.	21
Tab. 7: Gegenüberstellung von serieller und paralleler Kinematik, Quelle: Hesse (2010), S. 43.	22
Tab. 8: Werkzeuge für eine Roboteradaption, Quelle: Eigene Darstellung.	40
Tab. 9: Normen und Vorschriften für den Industrierobotereinsatz, Quelle: Hesse (2010), S. 234 ff. (leicht modifiziert).	43
Tab. 10: Verunreinigungen von Bauteilen, Quelle: Hofmann (2015), S. 34 (leicht modifiziert).	50
Tab. 11: Beispiele für verwendete Substanzen bei Umformprozessen, Quelle: Eigene Darstellung.	51
Tab. 12: Beispiele für Entfettungsverfahren, Quelle: Eigene Darstellung.	51
Tab. 13: Auswertung der Durchlaufzeiten des Bauteils Unterteil 1 QKC, Quelle: Eigene Darstellung.	64
Tab. 14: Fragenkatalog Abschnitt 1, Quelle: Eigene Darstellung.	70
Tab. 15: Fragenkatalog Abschnitt 2, Quelle: Eigene Darstellung.	71
Tab. 16: Fragenkatalog Abschnitt 3, Quelle: Eigene Darstellung.	71
Tab. 17: Abgeleitete Kennzahlen für die Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.	77
Tab. 18: Kennzahlenbeschreibungsblatt Sandstrahlautomatisierung, Quelle: Eigene Darstellung.	78
Tab. 19: Nutzwertanalyse zur Bewertung der beiden Systemvarianten, Quelle: Eigene Darstellung.	83
Tab. 20: Morphologischer Kasten zur Systemauslegung, Quelle: Eigene Darstellung.	91
Tab. 21: Aufteilung der Aufgabenstellung in Subsysteme zur vereinzelter Problemlösung, Quelle: Eigene Darstellung.	91
Tab. 22: Auswertung der gefertigten Stückzahlen, Quelle: Eigene Darstellung.	98
Tab. 23: Kostenaufstellung für Systemanschaffung, Quelle: Eigene Darstellung.	99

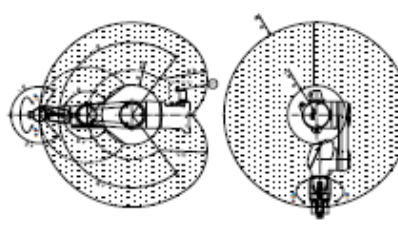
ANHANG 1: DATENBLATT STÄUBLI TX60L CS8C

TX60 TX60L

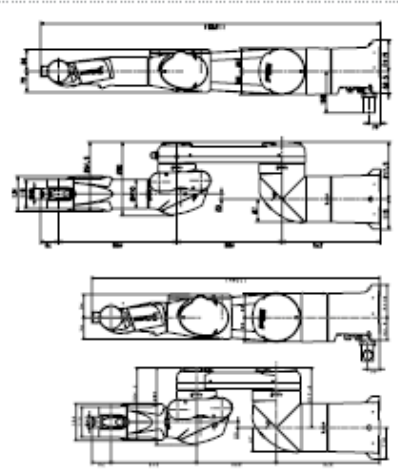
ACHSEN UND KOMPONENTEN



ARBEITSBEREICH

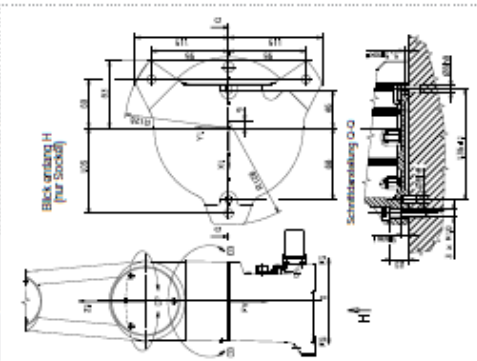


DIMENSIONEN

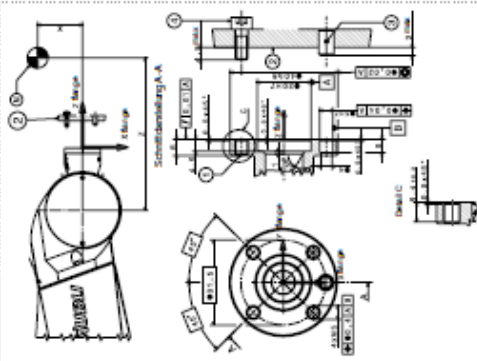


MONTAGEANLEITUNGEN

(nach den entsprechenden Katalogseiten)



FLANSCH



TECHNISCHE MERKMALE	TX60	TX60L	TRM0L
Maximale Traglast 1)	9 kg	9 kg	5 kg
Nominale Traglast	3,5 kg	3,5 kg	2 kg
Drehweite bei Flansch [mm]	670 mm	670 mm	500 mm
Arzähl-Freihöhengrade	6	6	6
Wiederholgenauigkeit ISO 6233 [mm]	± 0,02 mm	± 0,02 mm	± 0,03 mm
Stützabstimmung	CS8C		
Gewichte	51,4 kg	52,5 kg	
ARBEITSBEREICH			
Achse 1 (A)	± 180°	± 180°	± 180°
Achse 2 (B)	± 127,5°	± 127,5°	± 127,5°
Achse 3 (C)	± 142,5°	± 142,5°	± 142,5°
Achse 4 (D)	± 270°	± 270°	± 270°
Achse 5 (E)	± 132,5° / 122,5°	± 132,5° / 122,5°	± 132,5° / 122,5°
Achse 6 (F)	± 270°	± 270°	± 270°
REICHWEITE			
Maximale Drehweite zwischen Achsen 1 und 5 (R ₁) [M]	800 mm	800 mm	800 mm
Minimale Drehweite zwischen Achsen 2 und 5 (R ₂) [M]	600 mm	600 mm	600 mm
Minimale Drehweite zwischen Achsen 1 und 5 (R ₃) [mm]	190 mm	190 mm	200 mm
Minimale Drehweite zwischen Achsen 2 und 5 (R ₄) [mm]	180 mm	180 mm	200 mm
Drehweite zwischen Achsen 3 und 5 (R ₅) [mm]	310 mm	310 mm	450 mm
HOCHGESCHWINDIGKEIT			
Achse 1	4371°/s	4371°/s	4371°/s
Achse 2	4107°/s	4107°/s	3657°/s
Achse 3	5407°/s	5407°/s	5007°/s
Achse 4	6267°/s	6267°/s	6057°/s
Achse 5	10057°/s	10057°/s	1000°/s
Achse 6	14457°/s	14457°/s	1440°/s
Maximale Geschwindigkeit im Leerlaufschwerpunkt	8 m/s	10,0 m/s	
Maximale Traglast Achse 5	0,25 kg/m²	0,125 kg/m²	
Maximale Traglast Achse 6	0,1 kg/m²	0,025 kg/m²	
Bremsen	Alle Achsen		
ANSCHLÜSSE ROBOTERARM			
Pneumatik	1) Durchschlingung von den Anschließern zum Werkzeughalter 2) 22-Weg-Magnetventil (Druckluft) und 32-Weg-Magnetventil (Material) invariabel		
Elektrisch	1) 10-polige Anschlussbuchse 2) verteilte Leiterpaare, davon 2 abgegründet		
Reinraumklasse – ISO 14644-1	Klasse 4 – ISO 14644-1		
Schutzklasse [an Handgelenk]	IP65 (IK07)		
nach NF EN 60529			
EINSATZBEDINGUNGEN			
Beinhaltenstemperatur gemäß NF EN 60204-1	+5°C bis +40°C		
Relative Luftfeuchtigkeit gemäß NF EN 60204-1	30% bis max. 95%, kondensationsfrei		
Montagemöglichkeiten	Boden / Wand / Decke		
Selbstschärfer Kabinenabsperrung optional R	•		
Überwachungsarten*	•		
MARKTSPEZIFISCHE SONDERAUSFÜHRUNGEN			
Feuchtraum BE (Hand Einzonnenmilch) R	•		
Reinraum GR (Cleanroom) – Klasse 4 – ISO 14644-1	•		
Reinraum SCR (Supercleanroom) – Klasse 2 – ISO 14644-1	•		
Spezialraum – EUROCOMO S01 Schneidmilch	•		
Stark Umgebung	•		
ESD (Elektrostatische Entladung)	•		
Lebensmittelabhängiges OI (Nahrung NSF HF)	•		

1) Unter besonderen Bedingungen möglich, bitte sprechen Sie uns an.
 2) für Schienen bis ± 1000mm konfigurierbar.
 3) Bedingte Nachrüstung möglicher Schutz der Anschlüsse oder für manuelle Ein-/Ausmageloptionen, nur ab Werk erhältlich.
 4) Überwachungsarten: Diese (1) betreffen die Sicherheit der Handgelenke, (2) betreffen die Sicherheit in Umgebungen mit großer Staubkonzentration oder in der Nähe anderer Flammgefahren, nur ab Werk erhältlich.
 5) Feuchtraumversion (E) (Hand Einzonnenmilch) für den Einsatz in feuchten und oxidationsfördernden Umgebungen. Die Segmente des Roboterarms werden ab extra Schutz vor Korrosion gefertigt, nicht ab Werk erhältlich, nur ab Werk erhältlich.

ANHANG 2: DATENBLATT SMC MHZ2-20C(N)

Serie MHZ2

Ø6



Ø10 bis Ø25

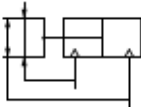


Ø32, Ø40

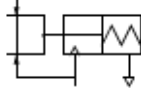


Symbole:

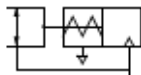
Doppeltwirkend



Einfachwirkend, drucklos geöffnet



Einfachwirkend, drucklos geschlossen



Technische Daten

Medium		Druckluft
Betriebsdruck	doppeltwirkend	Ø6: 0.15 bis 0.7 MPa Ø10: 0.2 bis 0.7 MPa Ø16 bis Ø40: 0.1 bis 0.7 MPa
	einfachwirkend	drucklos geöffnet drucklos geschlossen
Umgebungs-/Medientemperatur		-10 bis 60°C
Wiederholgenauigkeit		Ø6 bis Ø25: ±0.01 mm Ø32, Ø40: ±0.02 mm
Max. Arbeitsfrequenz		Ø6 bis Ø25: 180 Zyklen pro Minute Ø32, Ø40: 60 Zyklen pro Minute
Schmierung		nicht erforderlich
Funktionsweise		doppeltwirkend, einfachwirkend
Signalgeber (optional)		elektronischer Signalgeber (3-Draht, 2-Draht)

Modelle

Funktionsweise	Modell	Kolben-Ø [mm]	Haltekraft ^{Ann. 1)} Effektive Haltekraft je Greiferfinger [N]		Hub beim Schließvorgang (doppelseitig) [mm]	Ann. 2) Gewicht [g]
			außen greifend	innen greifend		
Doppeltwirkend	MHZ2-6D	6	3,3	6,1	4	27
	MHZ2-10D(N)	10	11	17	4	55
	MHZ2-16D(N)	16	34	45	6	115
	MHZ2-20D(N)	20	42	66	10	235
	MHZ2-25D(N)	25	65	104	14	430
	MHZ2-32D	32	158	193	22	715
Einfachwirkend	MHZ2-40D	40	254	318	30	1275
	MHZ2-6S	6	1,9		4	27
	MHZ2-10S(N)	10	7,1		4	55
	MHZ2-16S(N)	16	27		6	115
	MHZ2-20S(N)	20	33		10	240
	MHZ2-25D(N)	25	45		14	435
	MHZ2-32S	32	131		22	760
	MHZ2-40S	40	217		30	1370
	MHZ2-6C	6		3,7	4	27
	MHZ2-10C(N)	10		13	4	55
	MHZ2-16C(N)	16		27	6	115
	MHZ2-20C(N)	20		57	10	240
MHZ2-25C(N)	25		83	14	430	
MHZ2-32C	32		161	22	760	
MHZ2-40C	40		267	30	1370	

Ann. 1) Die Werte gelten bei einem Druck von 0.5 MPa, in der Hubmitte, Hebelarm L = 20 mm.
Ann. 2) Bei den angegebenen Werten wurde das Signalbergewicht nicht berücksichtigt.

Optionen

• Gehäuse/Ausführung mit Befestigungszapfen

Symbol	Anschlussposition	Anschlussart						Verfügbares Modell	
		MHZ2-6	MHZ2-10	MHZ2-16	MHZ2-20	MHZ2-25	MHZ2-32	MHZ2-40	doppeltwirkend
-	Grundausführung	M3			M5			●	●
E	Selbster Anschluss	—	M3	M5			—	●	●
W	Axialer Anschluss	—	mit Ø4-Einbaufitting für Koaxial-Schlauch			—	—	●	—
K	Axialer Anschluss	—	mit Ø4-Einbaufitting			—	—	—	●
M	Axialer Anschluss	—	M5			—	—	—	●

* Entnehmen Sie detaillierte Angaben zu den Gehäuseausführungen aus den technischen Daten zu den Optionen auf Seite 2-42.

ANHANG 3: DATENBLATT SMC MHZA2-6C

Parallelgreifer/Kompaktserie *Serie MHZA2-6/MHZAJ2-6*



Technische Daten

Medium	Druckluft	
Betriebsdruck	doppeltwirkend	0.15 bis 0.7 MPa
	einfachwirkend	0.3 bis 0.7 MPa
Umgebungs- und Medientemperatur		-10 bis 60 °C
Wiederholgenauigkeit		±0,05 mm
Max. Arbeitsfrequenz		180 Zyklen pro Minute
Schmierung		nicht erforderlich
Funktionsweise		doppeltwirkend, einfachwirkend

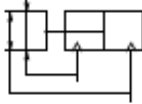
Ausführungen

Funktionsweise	Bezeichnung	Kolben-Ø [mm]	Haltkraft ^{Anm. 1)} Effektive Haltkraft je Greiferfinger [N]		Hub beim Schließvorgang (beide Seiten) [mm]	Gewicht [g]
			außen greifend	innen greifend		
doppeltwirkend	MHZA2-6D	6	3.3	6.1	4	26
	MHZAJ2-6D	6			4	27
einfachwirkend	MHZA2-6S	6	1.9	—	4	26
	MHZAJ2-6S	6			4	27
	MHZA2-6C	6	—	3.7	4	26
	MHZAJ2-6C	6			4	27

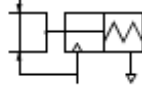
Anm. 1) Angaben gültig bei einem Druck von 0.5 MPa in der Hubmitte, Hebelarm L=20 mm.

Symbole:

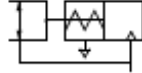
Doppeltwirkend



Einfachwirkend, drucklos geöffnet



Einfachwirkend, drucklos geschlossen

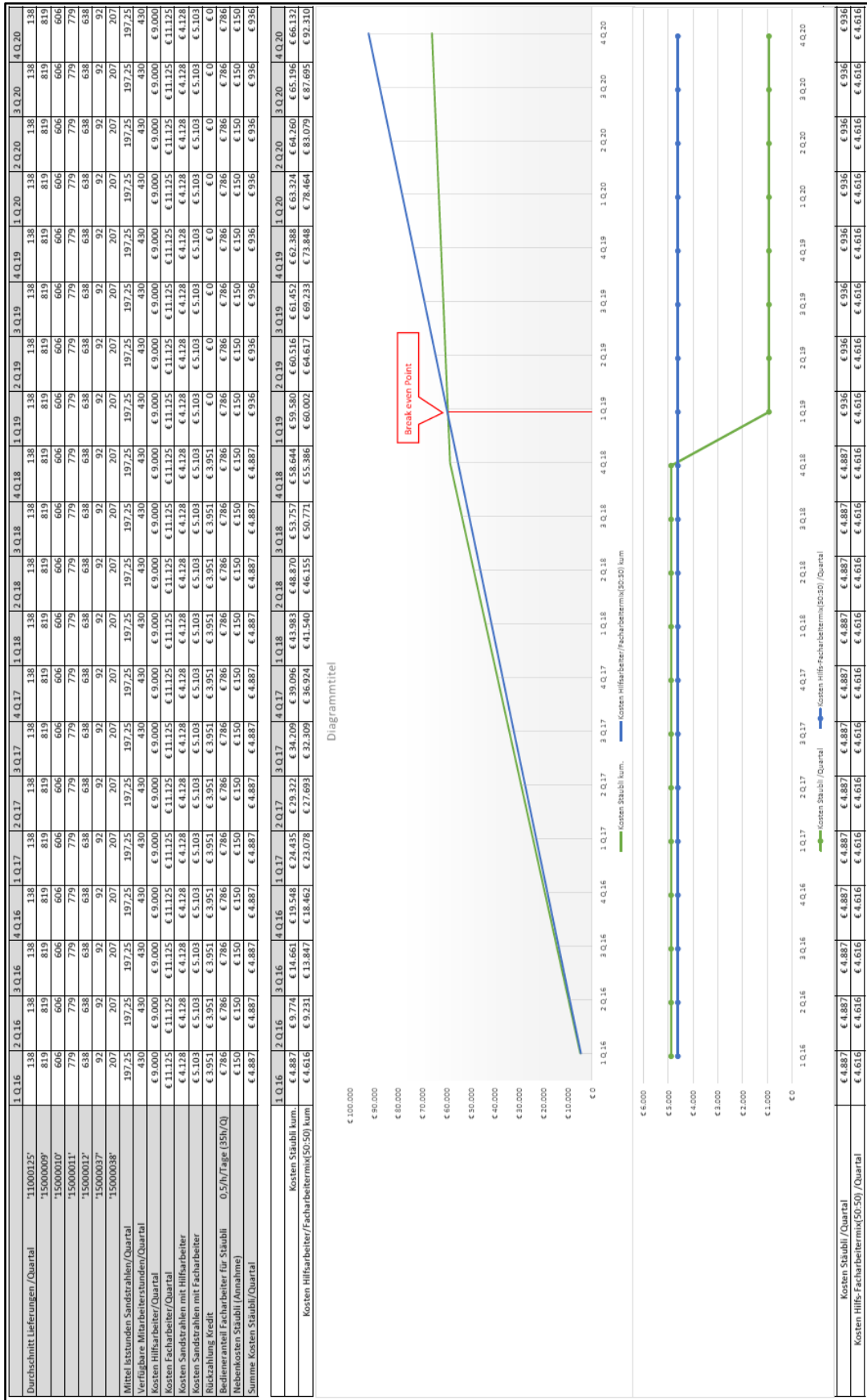


Optionen

• Gehäuse/Ausführung mit Befestigungszapfen

Symbol	Position der Anschlüsse	Anschlussart	Verfügbare Modelle	
		MHZA2-6/MHZAJ2-6	doppeltwirkend	einfachwirkend
-	Standard	M3	●	●
E	seitlicher Anschluss	M3	●	●
K	axialer Anschluss	Mit Ø4-Einbaufitting	—	●
H		Mit Ø4-Überwurfmutter	—	●
M		M3	—	●







ANHANG 4: BERECHNUNG ROI



ANHANG 5: FORMULAR ANFORDERUNGSLISTE

F = Forderung W = Wunsch	Nr.	Priorität	Anforderungen	Datum	verantwortlich
F	1	P	Einhaltung des Investitionsvolumen	14.02.2016	GG
F	2	P	Einhaltung der Amortisationsdauer	14.02.2016	GG
F	3	P	Adaption der bestehenden Anlage	17.02.2016	GG
W	4	-	Hersteller mit deutschsprachigem Support	18.02.2016	GG
F	5	P	Support vergleichbar mit Hermle-Support	18.02.2016	GG
F	6	P	Qualität der Bauteile muss ident sein	22.02.2016	GG
F	7	P	Multifunktionalität muss gegeben sein	22.02.2016	GG
W	8	-	Einhaltung der Produktionszeiten	11.03.2016	GG
F	9	P	Einhaltung der Ausschussquoten	11.03.2016	GG
F	10	-	Steigerung der Anlagenqualität	24.03.2016	GG
F	11	P	Einschränkung der Komplexität der Umsetzung	25.03.2016	GG
F	12	P	Minimierung der Sensorik der Anlage	25.03.2016	GG
F	13	P	Online- und Offline-Programmierung	25.03.2016	GG
F	14	P	Simulationstool vorhanden	25.03.2016	GG
F	15	P	Sicherheitsvorrichtungen konstruktiv	25.03.2016	GG
F	16	P	Vorrichtungen Eigenbau	25.03.2016	GG
F	17	P	Erleichterung Prozesslogistik	26.03.2016	GG
F	18	P	Ausbau der Anlage möglich	26.03.2016	GG
F	19	P	Mitarbeiter Knowhow vorhanden	26.03.2016	GG
F	20	P	Prozessfähigkeit der Anlage gewährleistet	26.03.2016	GG
F	21	-	Manuelles Sandstrahlen möglich	26.03.2016	GG
Abnahme: SWJ			Datum: 04.06.2016		Blatt 1 von 1

ANHANG 6: FORMULAR VEXAT-ERHEBUNG SEITE 1









VEXAT Explosionsschutzdokument gemäß §5		 Speichern
Leerformular		M0
		    
1. Angaben zur Betriebsanlage		Stand vom: <u>09.10.2012</u>
Firmenname:	Stadler Sensorik CNC-Technik GmbH	
Ortsangaben: (Straße, Gebäude, Geschoss usw.)	Gewerbepark Süd 2, 8121 Deutschfeित्रitz	
2. Beschreibung der baulichen Gegebenheiten und Anlagen		
Bezeichnung der Anlagen		
Anlagenbauer/-errichter: Ruby	Type: Sandstrahlkabine RUBY-RA36-1	
Baujahr: 2001	evtl. Absaugleistung: 400 m ³ /h	
Abmessungen: B910xT600xH580mm	GZ <u>4.1-448/08</u> vom ____.	
Gewerbebehördliche Genehmigung:		
Bauliche Anforderungen der VEXAT §13: In der Anlage (im Bereich, Aufstellungsort) müssen Decken, Wände und Fußböden zonenkonform ausgeführt sein.		
erfüllt <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		Dokumente gemäß Punkt 9.
3. Verfahrens- und ggf. Tätigkeitsbeschreibung		
In dieser Anlage werden Bauteile gestrahlt. Als Strahlmedium verwendet werden Glasperlen und Edelstahlkorund.		
4. Stoffdaten		
Die Arbeitsstoffliste, die Beurteilung der Arbeitsstoffe sowie die Sicherheitsdatenblätter liegen dem Sicherheits- und Gesundheitsschutzdokument bei.		
Bei Gasen, Dämpfen, Nebel und Stäuben sind Brenn- und Explosionskenngrößen anzugeben.		
5. Ermittlung und Beurteilung		
Frage 1) Sind brennbare Stoffe vorhanden?		
NEIN		
Frage 2) Kann durch ausreichende Verteilung in der Luft explosionsfähige Atmosphäre entstehen?		
NEIN		
Frage 3) Ist die Bildung eines explosionsgefährdeten Bereiches möglich?		
NEIN		
Frage 4) Ist die Bildung eines explosionsgefährdeten Bereiches zuverlässig verhindert?		
JA		
Frage 5) Ist die Entzündung in einem explosionsgefährdeten Bereich zuverlässig verhindert?		
JA		





ANHANG 7: FORMULAR VEXAT-ERHEBUNG SEITE 2

VEXAT Explosionsschutzdokument gemäß §5		    	
Leerformular		MO	
ERGEBNIS ZONENFESTLEGUNG			
Freisetzung von Gasen/Dämpfen/Nebel			
Bereich	Zone 0 ständig, langfristig oder häufig	Zone 1 gelegentlich	Zone 2 selten und während eines kurzen Zeitraums
Anlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Freisetzung von Stäuben			
Bereich	Zone 20 ständig, langfristig oder häufig	Zone 21 gelegentlich	Zone 22 selten und während eines kurzen Zeitraums
Anlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>Notwendige Dokumente: Als Nachweis für die Eignung der verwendeten Arbeitsmittel (siehe Arbeitsmittelliste Punkt 9) für die jeweilige Zone ist die Konformitätserklärung bzw. bei älteren Arbeitsmitteln der Nachweis aus den techn. Angaben bzw. eine Ex-Schutzbeurteilung (Gefahrenanalyse gemäß §9 VEXAT) über die Arbeitsmittel notwendig.</p>			
6. Maßnahmen			
6.1 Verhinderung oder Einschränkung der Bildung bzw. Überwachung der Konzentration in explosionsgefährdeten Bereichen			
Beschreibung			
Reinigung (Entfernung von Staubablagerungen)	<input type="checkbox"/> ja Arbeitsplatz sauber halten		
6.2 Verhinderung von Zündquellen in explosionsgefährdeten Bereichen			
Ausführung der elektrischen und nichtelektrischen Betriebsmittel gemäß VEXAT.			
Gruppe: ____	Kategorie: ____	Explosionsgruppe: ____	Temperaturklasse: ____
Eine Liste der in diesem explosionsgefährdeten Bereich verwendeten Arbeitsmittel befindet sich in Beilage 6, Punkt 9.			
Bewertung und Beurteilung von Zündquellen - Maßnahmen:			Maßnahme erfüllt? JA
Mechanisch erzeugte Funken:	Verbot von funkenzulehendem Handwerkszeug.		<input type="checkbox"/>
Statische Elektrizität:			<input type="checkbox"/>
Blitzschlag:	z.B. Blitzschutzanlage muss installiert sein.		<input type="checkbox"/>
Sonstige Gefährdungen:	Verbot von Radio, Heizstrahler, Wanduhr, Feuerzeug etc.		<input type="checkbox"/>
Glutnesterkennung + Funkenlöschanlage	<input type="checkbox"/> ja		
6.3 Konstruktive Maßnahmen, die die Explosionswirkung auf ein unbedenkliches Maß beschränken			
Beschreibung			
Explosionsdruckentlastete Bauweise	<input type="checkbox"/> ja		
Verhinderung der Flammen- und Explosionsübertragung (Entkoppelung)	<input type="checkbox"/> ja		
Druckstoßfeste Bauweise	<input type="checkbox"/> ja		
6.4 Notwendige Prüfungen			
⇒ Prüfung der Neuanlage nach VEXAT §7 (1)		Prüfung vor Inbetriebnahme	
⇒ Wiederkehrende Prüfung der Anlage und der elektrischen Betriebsmittel §7(2) (Elektrische Überprüfung)		Intervall: <input type="checkbox"/> jährlich <input type="checkbox"/> alle 3 Jahre	
⇒ Wiederkehrende Prüfung §7(3) (Absaugung)		Intervall: <input type="checkbox"/> jährlich	
Zur Kontrolle der Prüfungen siehe die Liste der wiederkehrenden Prüfungen im Sicherheits- und Gesundheitsschutzdokument. Evtl. offene Maßnahmen in den jeweiligen Prüfprotokollen müssen behoben worden sein.			
			Seite 2 von 3

ANHANG 8: FORMULAR VEXAT-ERHEBUNG SEITE 3

VEXAT Explosionsschutzdokument gemäß §5		    			
Leerformular		M0			
7. Instandhaltung, Reinigung, Wartung, Störungsbehebungen					
Gemäß Betriebs- und Wartungsanleitung vorgehen.					
8. Durchführung von organisatorischen Maßnahmen					
<ul style="list-style-type: none"> • Information (§6(1) VEXAT) der betroffenen Personen wurde durchgeführt: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein • Unterweisung (§6(2) VEXAT) der betroffenen Personen wurde durchgeführt: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein • Schriftliche Anweisungen für Arbeiten (§6(3)VEXAT): <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein • Ein System für Arbeitsfreigaben (§6(4 bis 7) VEXAT) wurde erstellt: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein 					
Nachweise zu diesen Punkten siehe unter Punkt 9, Beilage 11 bis 14.					
<ul style="list-style-type: none"> • Kennzeichnung der explosionsgefährdeten Bereiche die für Arbeitnehmer zugänglich sind und in denen sich Arbeitnehmer aufhalten. 	 	<input type="checkbox"/> ist vollständig			
9. Beilage	ja	Ort	Beilage	ja	Ort
1) Plan der Anlage	<input type="checkbox"/>		9) Genehmigungen	<input type="checkbox"/>	
2) Techn. Beschreibungen	<input type="checkbox"/>		10) Ex-Zonenplan	<input type="checkbox"/>	
3) Konformitätserklärungen	<input type="checkbox"/>		11) Informations- und Unterweisungsnachweise	<input type="checkbox"/>	
4) Wartungs- und Bedienungsanleitung	<input type="checkbox"/>		12) Schriftliche Anweisungen für Arbeiten	<input type="checkbox"/>	
5) Verzeichnis der gefährlichen Arbeitsstoffe gem. DOK-VO	<input type="checkbox"/>		13) Arbeitsfreigaben	<input type="checkbox"/>	
6) Arbeitsmittelliste	<input type="checkbox"/>		14) Warn- und Alarmbedingungen (§5(2)Z6)	<input type="checkbox"/>	
7) Sicherheitsdatenblätter	<input checked="" type="checkbox"/>		15) Staubdaten	<input type="checkbox"/>	
8) Prüfprotokolle	<input type="checkbox"/>				
10. Verantwortlichkeit					
Erstellt von <u>Tanja Stadler (QM)</u> am <u>09.10.2014</u>					
Beigezogene Personen:			Dem Arbeitgeber zur Kenntnis gebracht:		
Jochen Zechner, Wilfried Stadler, Gernot Goessler			Tanja Stadler (QM)		
					
Seite 3 von 3					

ANHANG 9: ANGEBOT STÄUBLI SEITE 1

	
Stadler Sensorik CNC-Technik GmbH Gewerbepark Süd 2 A-8121 Deutschfeistritz	
Frau Tanja Stadler	
Bayreuth, den 22.10.2015	
Angebot-Nr.:	1-95TWX1
Projekt-Nr.:	Glasperlen-Strahl-Roboter / TX60 oder TX90 CS8C (1)
Ihre Ansprechpartner:	
Außendienst:	David Kittl Mobil: +43 (0) 676 780 91 61
Innendienst:	Maria Schindhelm Telefon: 0921 / 883 3408
Sehr geehrte Frau Stadler,	
wir bedanken uns für Ihre Anfrage und unterbreiten Ihnen gerne nachfolgendes Angebot über:	
1x TX60L CS8C ALTERNATIV 1x TX90 CS8C	
Bitte beachten Sie, dass wir Ihnen in diesem Angebot Nettopreise aufgeführt haben, in denen wir Ihren speziellen Sonderrabatt bereits berücksichtigt haben.	
Wir hoffen, dass dieses Angebot Ihren Vorstellungen entspricht und stehen Ihnen bei Fragen jederzeit gerne zur Verfügung.	
Mit freundlichen Grüßen	
Stäubli Tec-Systems GmbH Robotics	
i.V. Martina Dünfelder Leiterin Vertriebsinnendienst	i.A. Maria Schindhelm Vertriebsinnendienst
<small>STÄUBLI Tec-Systems GmbH Robotics HRB 1409 Amtsgericht Bayreuth Theodor-Schmidt-Strasse 19 Geschäftsführer : Gerald Vogt D - 95448 BAYREUTH USt-IdNr. : DE132363008 Telefon +49 (0)921 883 0 www.staubli.com/robotics Fax +49 (0)921 883 3244 E-mail : sales.robot.de@staubli.com</small>	
Seite 1 / 19	

ANHANG 10: ANGEBOT STÄUBLI SEITE 2

 ROBOTICS

STÄUBLI

Angebot-Nr.: 1-95TWX1

PREISÜBERSICHT

1	TX60 L CS8C	
1	Armverlängerung L-Version	
1	Standard-Lackierung	
1	Industrielle Einsatzbedingung	
1	Magnetventile (Druckluft)	
1	CS8C für TX60	
1	Einbauversion	
1	SRC Version 7 (Betriebssystem)	
1	Kühlung	
1	Single-Spannungsversorgung	
1	5 m Verbindungskabel, doppelt steckbar	
1	Working Mode Selection mit 5 m Kabel	
1	16 I/O - Digitale Ein-/Ausgangserweiterung (BIO)	
1	Handbediengerät SP1	
1	Stäubli Robotics Suite SRS2013	
	TOTAL	31 925,00 €

Transport und Verpackungskosten pro TX60L CS8C: 850,00 €

ALTERNATIV

1	TX90 CS8C	
1	Standard-Armlänge	
1	Standardlackierung	
1	Industrielle Einsatzbedingung	
1	Magnetventile (Druckluft)	
1	CS8C für TX90	
1	Einbauversion	
1	SRC Version 7 (Betriebssystem)	
1	Kühlung	
1	Multi-Spannungsversorgung	
1	5 m Verbindungskabel, doppelt steckbar	
1	Working Mode Selection mit 5 m Kabel	
1	16 I/O - Digitale Ein-/Ausgangserweiterung (BIO)	
1	Handbediengerät SP1	
1	Stäubli Robotics Suite SRS2013	
	TOTAL	38 280,00 €

Transport und Verpackungskosten pro TX90 CS8C: 990,00 €

STÄUBLI Tec-Systems GmbH Robotics HRB 1409 Amtsgericht Bayreuth
 Theodor-Schmidt-Strasse 19 Geschäftsführer : Gerald Vogt
 D - 95448 BAYREUTH USt-IdNr. : DE132363008
 Telefon +49 (0)921 883 0 www.staubli.com/robotics
 Fax +49 (0)921 883 3244 E-mail : sales.robot.de@staubli.com

ANHANG 11: ANGEBOT ABB

Projekt: IRB1200 - Sandstrahlen
GmbH

9. November 2015

Firma: Stadler Sensorik CNC-Technik

1.: ANGEBOTSIINHALT

1.1.: ABB-Robotersystem IRB 1200-7/0.7 IRC5

MANIPULATOR

435-121	1x IRB 1200-7/0.7
209-202	1x ABB Graphite White std
287-10	1x IP67/66
334-1	1x ABB
803-1	1x Parallel & Air
966-1	1x From Below

BASIC

700-8	1x Compact 2nd generation
984-1	1x Mounting kit

FLOOR CABLES

210-2	1x 7 m
-------	--------

CONTROL MODULE

701-1	1x FlexPendant 10 m
709-1	1x Single ch
716-1	1x Digital 24V 16In/16Out 1
733-3	1x External panel
734-1	1x Panel cable - 15m

ROBOTWARE

685-2	1x RW 6
608-1	1x World Zones
611-1	1x Path Recovery
617-1	1x FlexPendant Interface
623-1	1x Multitasking
824-1	1x MultiFunction



1.2.: Roboterschutzhülle

- 1x Roboterschutzhülle für ABB IRB 1200-7, von Achse 4 bis Achse 6, Material TG 05
- 1x Befestigungsset bestehend aus: selbstklebendes Hakenband, Schellen plus Schellenschutz. Dient zur Fixierung der Schutzhülle am Roboter
- 1x Decoupler Achse 6, Material POM/ABS, Gewicht ca. 2kg, mit doppelseitigem, abgedichtetem Rillenkugellager und Wellendichtring, garantierte Drehfreiheit der Achse 6 um 360°. Der ISO- Flansche Achse 6 ist auf den Decoupler versetzt. Der Decoupler dient als zusätzlicher Schutz der Achse 6, vor Eindringen jeglicher Medien.
- Die Abbildung dient als Beispiel, welches von der realen Ausführung abweicht.



Richtangebot Nr.: ST-2015-432
Seite 2/11

<http://www.abb.com/robotics>

Power and productivity
for a better world™ **ABB**

ANHANG 12: DOKUMENT MITARBEITERBEFRAGUNG SEITE 1



Anonyme Mitarbeiterbefragung

IST-Stand-Erhebung Bereich Sandstrahlen

Diese anonyme Mitarbeiterbefragung dient der IST-Stand-Analyse des Prozesses Sandstrahlen – zugehöriger Prozess der Abteilung Montage/Finishing. Bitte beantworten Sie auf den folgenden beiden Seiten alle Fragen, dies ist notwendig für die Erstellung eines aussagekräftigen Abbildes der derzeitigen Situation am Arbeitsplatz. Diese Umfrage ist anonym – alle Fragebögen und damit verbundenen Daten werden streng vertraulich behandelt. Diese Umfrage zielt nicht auf eine individuelle Bewertung der Mitarbeiter ab.

Die Umfrage ist in 3 Teile gegliedert – ein Teil für die Eruiierung der Mitarbeiterzufriedenheit mit den in der betroffenen Abteilung verwendeten Anlagen und Vorrichtungen, ein Teil für die Beurteilung der Qualität der vom Unternehmen bereitgestellten Anlagen und Vorrichtungen, sowie einem abschließendem Teil zur Erfassung des vorhandenen Knowhows für die Planung eines geeigneten internen Schulungsprogramms.

Projektmanagement, Gernot Gößler, BSc

Teil 1 – Beurteilung der Mitarbeiterzufriedenheit bezgl. Anlagen und Vorrichtungen

Frage n Nr.	Frage	Bewertung 0 - 4				
		0	1	2	3	4
1	Sind in ihrer Abteilung Anlagen und Vorrichtungen zur Automatisierung von Prozessen und deren Arbeitsschritten adaptiert?				X	
2	Sind diese Anlagen und Vorrichtungen anwenderfreundlich ausgeführt?					X
3	Laufen diese Anlagen mit hoher Wiederholgenauigkeit und gewährleisten diese eine hohe Prozesssicherheit?				X	
4	Sehen sie Handlungsbedarf hinsichtlich der Anschaffung oder Eigenfertigung von neuen Automatisierungslösungen? Wenn ja, wird auf Ihre Forderungen seitens des Unternehmens eingegangen?					X
5	Wie sind sie selbst mit der Dokumentation der Anlagen und Vorrichtungen und der Fehlerbeschreibung zufrieden?		X			

Bewertung:

0	unzureichend
1	mangelhaft
2	ausreichend
3	überdurchschnittlich
4	zur Gänze erfüllt

ANHANG 13: DOKUMENT MITARBEITERBEFRAGUNG SEITE 2



Teil 2 – Beurteilung der Qualität der Anlagen und Vorrichtungen

Frage n Nr.	Frage	Bewertung 0 - 4				
		0	1	2	3	4
1	Können die im Fertigungsauftrag eingetragenen Ablaufzeiten mit den vorhandenen Automatisierungslösungen eingehalten werden?			X		
2	Wird die geforderte Qualität der Produkte mit der Anlage und den Vorrichtungen erreicht?					X
3	Befindet sich der prozentuelle Ausschussanteil der gefertigten Teile im Toleranzbereich?					X
4	Ist die Arbeit an und mit der Automatisierungslösung für den menschlichen Körper ergonomisch entsprechend und nicht belastend?					X

Bewertung:

- 0 unzureichend
- 1 mangelhaft
- 2 ausreichend
- 3 überdurchschnittlich
- 4 zur Gänze erfüllt

Teil 3 – Zusammenfassung der theoretischen Kenntnisse der Mitarbeiter

Frage Nr.	Frage	Bewertung
1	Was verstehen Sie unter dem Begriff Industrieroboter?	8
2	Was verstehen Sie unter dem Begriff Koordinatensystem?	10
3	Was verstehen Sie unter dem Begriff Bezugspunkt?	7
4	Was verstehen Sie unter dem Begriff Online- bzw. Offline-Programmierung?	10
5	Was verstehen Sie unter dem Begriff Wartung?	9
6	Gibt es für Sie als Mitarbeiter eine definierte Verfahrensvorschrift für Störfälle an einer Anlage?	6
7	Sind Sie mit den Sicherheitsvorschriften beim Arbeiten an elektrischen Anlagen vertraut?	3
8	Sind Sie sich der Gefahren des elektrischen Stromes bei Störfällen durch Isolationsfehlern oder Masseschluss bewusst?	9

Bewertung

- 0 Nicht erfüllt
- 10 zur Gänze erfüllt

ANHANG 14: BERECHNUNG GREIFKRAFT SEITE 1

1/5

Berechnung zur Auslegung der Greifkraft:→ Kontinuitätsgleichung als Ausgangspunkt:

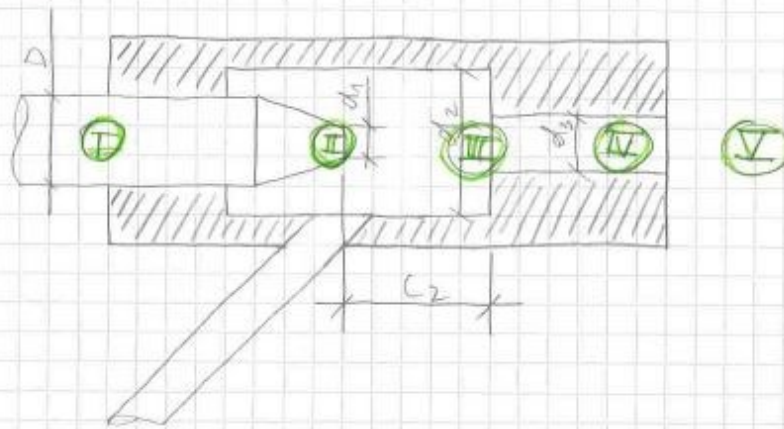
$$\frac{dM}{dt} = \rho \cdot A_1 \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot A_1 \cdot v_1 \quad | \dot{m} = \text{Massenfluss}$$

→ Inkompressibles, ideales Medium: Massenfluss durch Querschnitt muss gleich bleiben

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow \rho \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho \cdot A_2 \cdot v_2$$

$$\Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Skizze:

I $A_1, v_1, p_{s1}, \dot{m}_1$ Zu Beginn Druckluft →
 → kein ideales, inkompressibles Medium aber
 da $v_1 \ll c$ [Schallgeschwindigkeit $\sim 340 \frac{m}{s}$]
 als Annahme ok.

II $A_2, v_2, p_{s2}, \dot{m}_2$

III da $L_2 \ll \dots$ → vernachlässigbar

IV $A_1, v_1, p_{s1}, \dot{m}_1$

ANHANG 15: BERECHNUNG GREIFKRAFT SEITE 2

2/5

Bernoulli Gleichung

$$p + p_s = p_0 = \text{const.}$$

$$p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = p_0 = \text{const}$$

p ... statischer Druck

p_s ... dynamischer Druck (Staudruck)

p_0 ... Gesamtdruck (const)

v ... Strömungsgeschwindigkeit

I

$$\dot{v} = \frac{dV}{dt} = \frac{A_1 \cdot dx_1}{dt} = A_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = A_1 \cdot v_1$$

$$\Rightarrow v_1 = \frac{\dot{v}}{A_1} \quad \text{bzw. mit } \dot{m} = \dot{v} \cdot \rho \Rightarrow v_1 = \frac{\dot{m}}{A_1 \cdot \rho}$$

für gegebenen Gesamtdruck p_0 von 7 bar
Pumpendruck (Druckluft im Leitungsinnen):

$$p_1 + p_{s1} = p_0 = \text{const}$$

$$\Rightarrow p_1 = p_0 - p_{s1}$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_0$$

↳ messbarer Druck

II

$$\text{Kontinuität: } \frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \Rightarrow v_2 = v_1 \cdot \frac{A_1}{A_2}$$

$$\Rightarrow p_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

III

vernachlässigbar!

IV

$$\text{Wiederholung von II: } \frac{v_2}{v_4} = \frac{A_4}{A_2} \Rightarrow v_4 = v_2 \cdot \frac{A_2}{A_4}$$

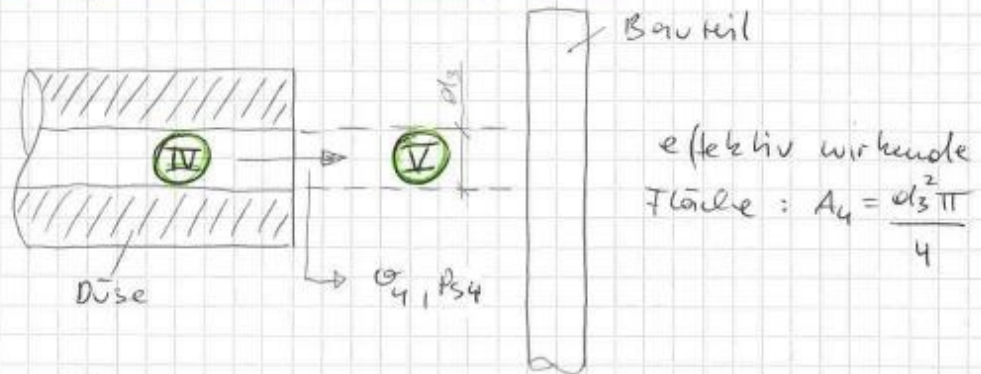
V

$$\text{Austritt: } p_0 = p_{s4} + p_{\text{Umgebung}}$$

$$p_{\text{Umgebung (am Austritt)}} \stackrel{!}{=} p_{\text{at}} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

ANHANG 16: BERECHNUNG GREIFKRAFT SEITE 3

315

Kraft an der Bauteilfläche

$$\underline{Fo:} \quad F = \int p \, dA$$

Da in diesem Fall $p(r)$ konstant bzw. A konstant

$$F = p \cdot A = p_0 \cdot \frac{d_3^2 \cdot \pi}{4}$$

$$F = (p_{34} + p_{at}) \cdot \frac{d_3^2 \cdot \pi}{4}$$

$$\text{mit } p_{34} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_4^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot \left(v_2 \cdot \frac{A_2}{A_1} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(v_1 \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{A_2}{A_4} \right)^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot \left(\frac{A_1}{A_4} \cdot \frac{v_1}{A_1 \rho} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{v_1^2}{A_4^2 \cdot \rho^2}$$

$$p_{34} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_1^2}{A_4^2 \cdot \rho}$$

Nicht berücksichtigt bei der Annäherung:

- Stokes'sche Reibungskraft in Rohr und Luft
- Druckverluste in den Rohren
- Elliptischer Querschnitt beim Auftreffen auf das Bauteil wegen der Erdbeschleunigung $\begin{matrix} \dots & 0 \\ \dots & 0 \end{matrix}$

ANHANG 17: BERECHNUNG GREIFKRAFT SEITE 4

4/5

Berechnung:

$$\underline{F_0}: F = p_0 \cdot A = p_0 \cdot \frac{d_3^2 \cdot \pi}{4} \quad \left| \begin{array}{l} p_0 = 7 \text{ bar} \hat{=} 700.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \\ d_3 = 5 \text{ mm} \hat{=} 0,005 \text{ m} \end{array} \right.$$

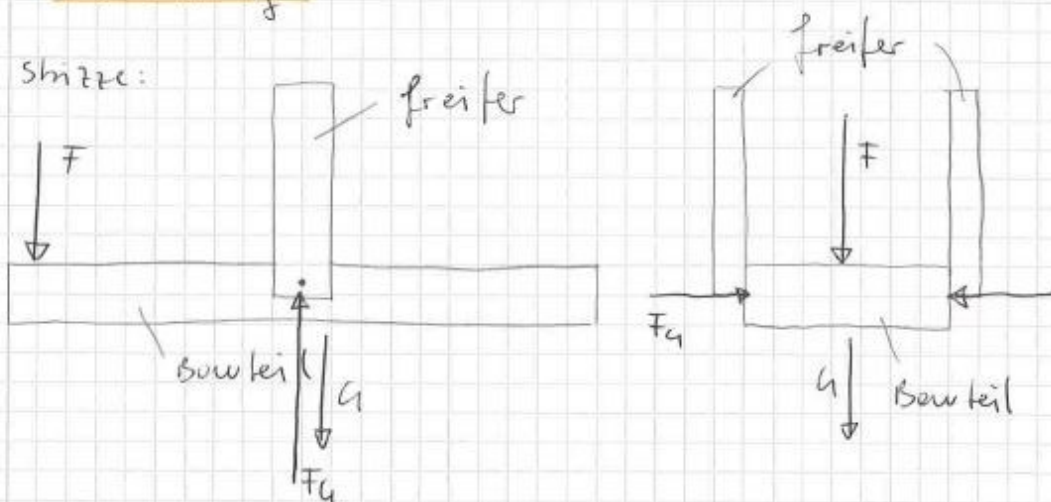
$$F = 700.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{(0,005 \text{ m})^2 \cdot \pi}{4}$$

$$F = 13,74 \text{ N} \approx 14 \text{ N}$$

Kraft mit der das Strahlmedium am Bohrteil einwirkt.

Berechnung:

Skizze:



$$\sum F_i \stackrel{!}{=} 0$$

$$\hookrightarrow F_G = \frac{F+G}{M \cdot \mu} \cdot S = \frac{F+(m \cdot g)}{M \cdot \mu} \cdot S$$

S... Sicherheit

F... Bearbeitungskraft

M... Reibbeiwert

n... Anzahl der freierbacken

ANHANG 18: BERECHNUNG GREIFKRAFT SEITE 5

515

$$F_G = \frac{F + (m \cdot g)}{n \cdot \mu} \cdot S$$

S... gewählt : 3 (3fache Sicherheit gegen
Gewebe (Verschiebung))

μ ... Reibbeiwert für Aluminium und Kunststoff
mit 0,4 gewählt \rightarrow Literatur

n ... Anzahl der freierbacken = 2

$$F_G = \frac{13,74 \text{ N} + (0,15 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}{0,4 \cdot 2} \cdot 3$$

$$F_G = 57,0375 \text{ N}$$