

# Abschlussarbeit

## Thema:

‘Erstellung eines Konzeptes für ein Montagezentrum zur Realisierung von Steckverbindungen aus stangenförmigen genormten Profilteilen mit integrierter roboter-gestützten Manipulation der Ausgangs- und Fertigteile‘

vorgelegt bei

## **Betreuer:**

Prof. Dr. -Ing. Rolf Kademann; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW  
Dipl. -Ing. (FH) Thomas Kirchhofer; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW

Hochschule Merseburg

**Autor:** Ziang Tang

**Matrikelnummer:** 24717

**Studiengang:** Mechatronik/ Maschinenbau (B.Eng.)

**Fachbereich:** Ingenieur- und Naturwissenschaften

**Ort:** Hochschule Merseburg

# Inhaltverzeichnis

Einleitung.....	1
<b>1. Montage und Montagesystem.....</b>	<b>2</b>
1.1 Grundlagen der Montage.....	2
1.2 Grundkomponenten der Montage.....	2
1.3 Montagesystem.....	4
1.4 Unterscheidung von Montagesystemen.....	5
1.5 Stellung in der Produktion.....	7
1.5.1 Anordnung im Produktionsprozess.....	7
1.5.2 Ökonomische Relevanz.....	8
1.6 Planung von Montageabläufen und -systemen.....	9
1.6.1 Aufgaben und Ziele.....	9
1.6.2 Planungsaspekte.....	11
1.6.3 Planungshilfsmittel.....	12
1.7 Steuerung und Betrieb der Montage.....	13
<b>2. Steckverbindungen aus stangenförmigen genormten Profilteilen.....</b>	<b>15</b>
2.1 Steckverbindung.....	15
2.2 Profile.....	16
2.2.1 Konstruktionsprofil (Aluminiumprofil).....	16
2.2.2 Stahlprofil.....	16
2.3 Verbindungstechnik.....	17
2.3.1 Verbindungstechnik von Aluminiumprofilen.....	17
2.3.2 Verbindungstechnik von Stahlprofilen.....	19
2.4 Einsätze.....	20
2.4.1 Einsätze von Aluminiumprofilen.....	20
2.4.2 Einsätze von Stahlprofilen.....	21
2.5 Gegenwärtiger Stand der Montagesystemauslegung über Steckverbindungstechnik von Profilen.....	22
2.5.1 Über Aluminiumprofile.....	22
2.5.2 Über Stahlprofile.....	24
<b>3. Wichtigste Einrichtungen für Aluminiumprofilverbindungen.....</b>	<b>26</b>
3.1 LBR iiwa aus KUKA.....	26
3.2 Yuanda Roboter aus Yuanda Robotik GmbH.....	28
3.3 CR-14iA/L aus FANUC.....	30
<b>4. Auslegung und Bewertung der Lösungsvarianten.....</b>	<b>32</b>
4.1 Auslegung und Bewertung der Einrichtungen für Aluminiumprofile.....	32
4.1.1 LBR iiwa von KUKA.....	32
4.1.2 Yuanda Roboter.....	33
4.1.3 CR-14iA/L von FANUC.....	34
4.2 Bewertungskriterien und Ergebnis.....	35
4.2.1 Bewertungsregel.....	35
4.2.2 Ergebnis.....	35

4.3 Begründung der Auswahl .....	36
<b>5. Prozess und Grundlage .....</b>	<b>37</b>
5.1 Steckverbindung der Aluminiumprofile in der Praxis .....	37
5.2 Objekterkennung .....	39
5.3 Greifsystem.....	40
<b>6. Ausrüstung und automatisierte Produktionslinie für Profilstahlverbindung</b> 42	
6.1 Träger-Montagelinie .....	42
6.2 "All-in-One"-Trägerbearbeitung .....	43
6.3 Multi-process robot on track .....	44
<b>7. Grundkomponenten und technische Einrichtungen von Montagezentrum</b> 45	
7.1 Transportsystem .....	46
7.2 Steuerung .....	50
7.3 Handhabung .....	51
7.4 Ver- und Entsorgung der Roboter .....	52
<b>8. Erstellung eines Konzeptes für das Montagezentrum zur</b> <b>Steckverbindungen von Konstruktionsprofil .....</b>	<b>53</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>55</b>

# Einleitung

## 1. Aufgabenstellung

Zunehmend gewinnt die Automatisierung in mannigfaltiger Form in der Produktionstechnik an Bedeutung, so dass es bei der Auslegung der einzusetzenden Fertigungstechnik eine Vielzahl an technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu beachten gilt.

Im Rahmen der Bachelorarbeit sind, gemäß der o. g. Themenstellung, das Maschinenkonzept zu konzipieren, deren Struktur darzustellen sowie dazugehörige maschinenbautechnische und organisatorische Besonderheiten aufzuzeigen und deren Einbindung in den Prozessablauf zu analysieren.

## 2. Betroffener Bereich

Dieser Artikel bezieht sich auf die automatisierte Steckverbindungen aus stangenförmigen genormten standardisierter Streifenprofile mit integrierter roboter-gestützten Manipulation der Ausgangs- und Fertigteile in der modernen Industrieproduktion.

## 3. Ziele der Arbeit

Um die Vorteile der automatischen Montage von Profilen unter die Steuerung von Robotern, ihre Entwicklungsperspektiven und die Schwierigkeiten bei aktuellen praktischen Anwendungen zu untersuchen, ist dies der Hauptinhalt und Zweck dieses Artikels.

# 1. Montage und Montagesystem

## 1.1 Grundlagen der Montage

Gemäß den festgelegten technischen Anforderungen wird der Prozess der Einzelteile und Verbinden von Teilen oder Komponenten zur Herstellung von Halbfertigteilen oder Endprodukten als Montage bezeichnet. Die Montage ist das letzte Glied im Maschinenherstellungsprozess, der Montage, Einstellung, Inspektion und Prüfung umfasst. Der Montageprozess ermöglicht es den Einzelteilen, Komponenten und Baugruppen, eine bestimmte gegenseitige Positionsbeziehung zu erhalten, sodass der Montageprozess auch ein Produktionsprozess ist.

## 1.2 Grundkomponenten der Montage

Montagevorgänge lassen sich inhaltlich in die zwei Grundtätigkeiten Greifen (Aufnehmen zu montierenden Teilen/ Ablegen montierter Teile) und Montieren (Zusammenfügen) untergliedern, so dass der Begriff der Montage wie folgt definiert werden kann: [1] unten

Montieren ist die Summe aller Vorgänge, die zum Zusammenbauen verschiedener Einzelteile zu einer Baugruppe bzw. mehrerer Baugruppen zu einem funktionsfähigen Endprodukt förderlich sind. [1]

Der Montageprozess umfasst damit die Funktionen [1]

- Ordnen, Bereitstellen und Zuführen der zu montierenden Komponenten
- Zusammenfügen der Komponenten (aus Einzelteilen zu Baugruppen/ aus Baugruppen zum Fertigprodukt)
- Ausrichten, Justieren und Zusammensetzen
- Fügen der Komponenten (durch Löten, Schweißen, Kleben oder Pressen) bzw. Herstellung einer Verbindung zwischen den Komponenten (durch Verschrauben oder Umformen) und

- Kontrollieren durch Messen oder Funktionsprüfung.

Diese Funktionen bilden gleichzeitig auch die technologische Reihenfolge beim Ablauf von Montageprozessen. Gemäß Abbildung 1 ist ein Montagesystem ausfolgenden Grundelementen aufgebaut: [1]

- Arbeitsplatz oder mehrere gleiche bzw. unterschiedliche Arbeitsplätze
- Verbindendes Transportsystem und
- gegebenenfalls einer definierten Speicheranzahl für zu montierende Komponenten.

Abgeleitet aus den angeführten Komponenten eines Montagesystems und deren grafischer Veranschaulichung in Abbildung 1, wird unter der automatischen Montagestation verstanden:[1]

Automatische Montagestationen sind elektronisch gesteuerte Montageeinrichtungen, die sich durch Änderung der Programme auf Varianten oder andere zu montierenden Teilen und/der Baugruppen umstellen lassen.[1]

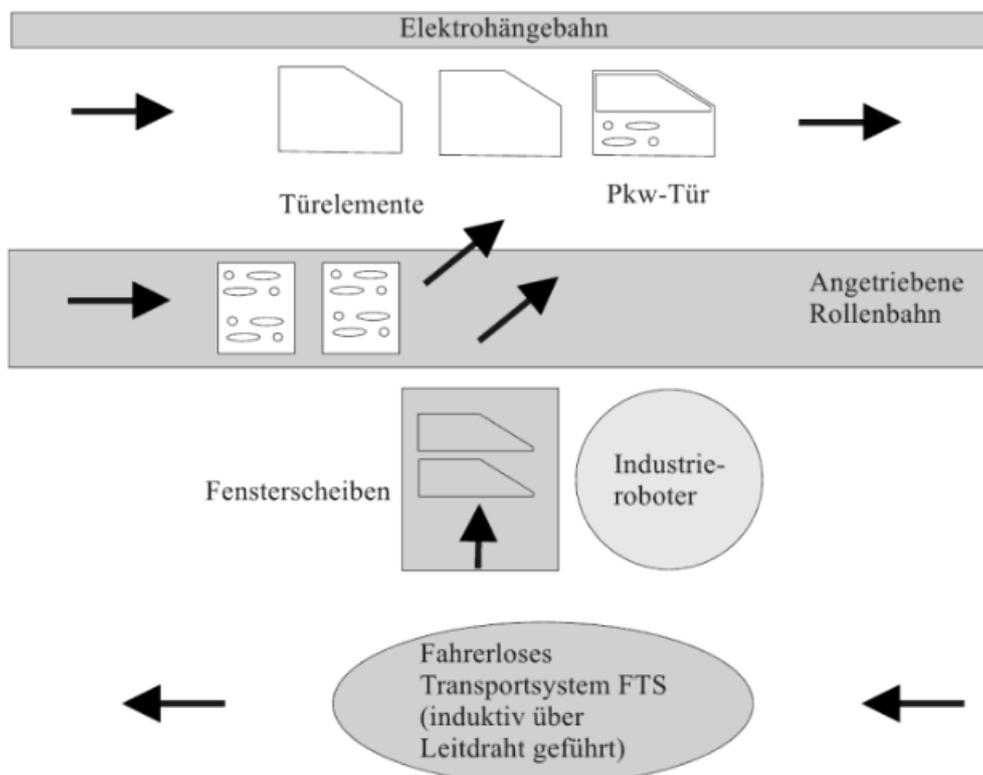


Abbildung 1: Schema einer flexiblen Montageanlage mit entsprechender Handhabungs- und Montagetechnik[2]

Grundelement einer Montagestation ist der Montageroboter. Je nach Montageaufgabe wird dieses Handhabungsgerät mit geeigneten Werkzeugen ausgerüstet, die bei Bedarf auch automatisch gewechselt werden können. Weiterhin erfolgt eine automatische Werkstückzu-und-abführung.[1]

### 1.3 Montagesystem

Ein Montagesystem ist eine Einrichtung, die alle Aufgaben bei der Durchführung von Montageprozessen für ein festgelegtes Produktspektrum erfüllt.

Der Fertigungsbereich "Montage" ist eine Teilfunktion des Fertigungs oder ein Subsystem des Produktionssystems.

Innerhalb der Montage kann die folgenden Subsysteme abgegrenzte:

- Montageteilsystem (Gesamtarbeitssystem)
- Montageabschnitt (Arbeitssystem)
- Montagestation (Arbeitsplatz)

Abbildung 2 illustriert die hierarchische Gliederung des Fertigungsbereichs „Montage“ in Teilarbeitssysteme in Abhängigkeit von der Systemgröße.[3]

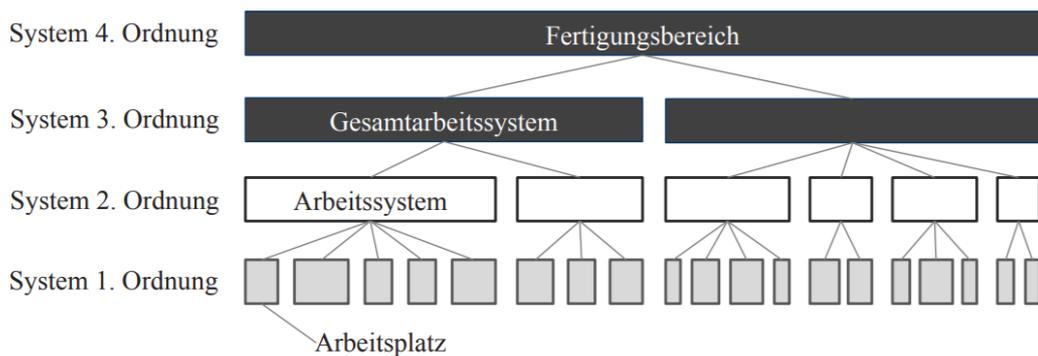


Abbildung 2: Hierarchie der Montagesysteme[3]

Der Fertigungsbereich ist die größte Einheit in der Systembetrachtung, in welcher sich Mitarbeiter und technische Einrichtungen für die komplette Montage enthalten können. Der Fertigungsbereich kann weiter in ein

oder mehrere Gesamtarbeitssysteme eingeteilt werden. In einem solchen Makroarbeitssystem umfasst die Montageaufgabe einen unabhängigen Montageprozess, z.B. die Vormontage oder Endmontage. Ein solches Montagesubsystem umfasst auch mehrere Sub- (Arbeits-) Systeme, nämlich das Montageteil, das einige verwandte Montagestationen enthält. Die kleinste hierarchische Einheit setzt sich aus der Montagestation und im Allgemeinen einer oder mehreren Arbeitsplätzen sowie entsprechende Betriebsmittel (Mikroarbeitssystem) zusammen.

#### 1.4 Unterscheidung von Montagesystemen

Die folgenden Kriterien werden zur Unterscheidung und Klassifizierung von Montagesystemen verwendet:

Montagephasen, insbesondere Vormontage, Hauptmontage und Nachmontage:

Im Bereich der Vormontage werden meistens Baugruppen und Komponenten gefertigt, die in Hauptmontagen oder Endmontagen zum Produkt gefügt werden. Wenn einige bestimmte Teile fehlen, ist eine Nachmontage erforderlich, um das Produkt zu vervollständigen. Nachmontage können insb. Bei Installationen Tätigkeiten der Justage und Einstellung beinhalten.

Organisationsform bezüglich kinematischer Alternativen:

Hierbei werden die Montageobjekt und Arbeitsplätze gemäß der Bewegungsanordnung innerhalb des Montagesystems bewertet (Abb. 3). Bisher basiert die Anordnung auf das Objekt. Beispielsweise werden in der Massenproduktion Reihen- und Fließkonzepte verwendet, während Baustellenmontagen mit den kleinsten Losgrößen und externe Komponenten üblich sind. Das Gruppenkonzept macht das System flexibler in Bezug auf Losgröße und Personaleinsatz.

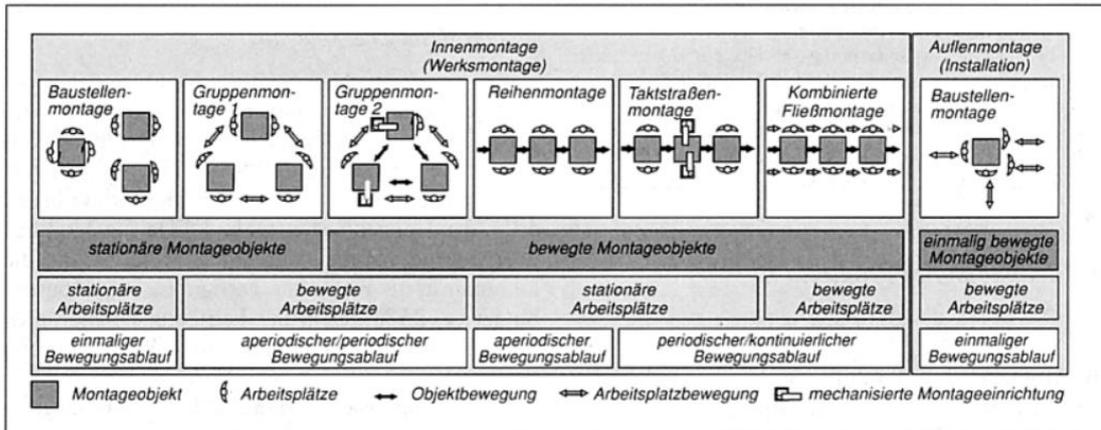


Abbildung 3: Kinematische Alternativen von Organisationsformen der Montage nach Eversheim (Eversheim, W. 1987)[3]

### Systemflexibilität:

Durch die zunehmende Anzahl von Varianten wird die Losgröße reduziert, so dass höhere Anforderungen an die Flexibilität des Montagesystems gestellt werden. Die Flexibilität in einer Montage oder einem Montagesystem kann definiert werden als die Anpassungsfähigkeit vom System an Änderungen bei den zu produzierenden Produkten (Geometrie, Material, Werkstoff, Verbindung, Anzahl der Teile), den Produktionsanforderungen (Montageumfang, Stückzahl, Frist, Zeit, Kosten) und den Produktionsbedingungen (Ausrüstung, Personal, Qualifikationen, Randbedingungen). Flexible Montagesysteme umfassen beispielsweise produktneutralen, manuelle Arbeitsstationen, die automatisiert und austauschbar sind, und bei Bedarf produktspezifische Montagemodule.

### Automatisierungsgrad:

Die Automatisierung von Montagesystemen funktioniert normalerweise im Gegensatz zum Bedürfnis nach Flexibilität, da die sensorischen Anforderungen an automatisierte Montagesysteme mit der Flexibilität erheblich zunehmen. Daher wird derartige Systeme hauptsächlich für die Produktion in der Großserien- und Massenfertigung verwendet. Die Kombination von automatischen und manuellen Systemkomponenten

(sogenannte Hybridsysteme) wird optimiert, um die Stückkosten zu senken und die Flexibilität zu erhöhen.

Funktionale und fachliche Arbeitsteilung (Abb. 4):

Aufgrund des ständig steigenden Bedarfs an Flexibilität und der steigenden Anforderungen an die Qualität bei der Montage sind während des Montageprozesses dispositive und kontrollierende Integrations- und Steuerfunktionen erforderlich. Dies erspart kostspielige Nachprüfungen, Demontagen und Nacharbeiten. Solche Montagesysteme können als Teil der Gruppenarbeit implementiert werden, und diese Montagesysteme können autonom arbeiten.

<i>Taylorisierung</i>		<i>Funktions- und fachliche Integration</i>	
<p style="text-align: center;"><b>(Neo-) Taylorismus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Hohe Montagestückzahlen</li> <li>– Begrenzte Anzahl montagerelevanter Varianten</li> <li>– Gleichförmige Arbeitsabläufe</li> <li>– Eher geringe Qualitätsanforderungen.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Polarisierte Montagearbeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mindestmaß an technischer Komplexität u. Qualitätsanforderungen, die indirekte Funktionen bedingen.</li> <li>– Typisch: (teil-) automatisierte Arbeitssysteme mit Anteilen einfacher, manueller Tätigkeiten.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Partielle Gruppenmontage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mindestsystemgröße</li> <li>– Heterogene Anforderungs- und uneinheitliche Zeitstrukturen und das Layout der Montage begrenzen die Integration</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Qualifizierte Gruppenmontage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Unterschiedlich qualifizierte Gruppen mit weitgehend homogenem Aufbau.</li> <li>– Wenn indirekte Funktionen integrierbar sein sollen, dürfen direkte Funktionen nicht zeitgebunden sein.</li> </ul>

Abbildung 4: Gliederung nach funktionaler und fachlicher Integration nach Seitz (Seitz, D. 1992)[3]

Ort der Montage aus Sicht des Durchführenden:

Es gibt einen Unterschied zwischen der Innenmontage (auch Werksmontage) und der Außenmontage (auch Installation), bei der die Außenmontage auch als Außenmontage bezeichnet wird. Der Unterschied zwischen Außenmontage und Innenmontage liegt in mobilen einzusetzenden Arbeitskräften, wechselnden Montagebedingungen, fehlenden installierten Montagegeräten und variabler Infrastruktur.

## 1.5 Stellung in der Produktion

### 1.5.1 Anordnung im Produktionsprozess

Die Montage ist zwischen der Produktion einzelner Teile oder des Lagers und der Lieferung oder Qualitätssicherung während des Produktionsprozesses angeordnet.

Im Produktionsprozess enthält die Montage Organisations-, Planungs- und Qualitätsfehler. Es konzentriert sich auf Schwachstellen in den Bereichen Beschaffung, Lagerstrategie, Konstruktion, Produktion einzelner Teile, Komponententests, Logistik sowie Prozessplanung und -steuerung (Abb. 5)

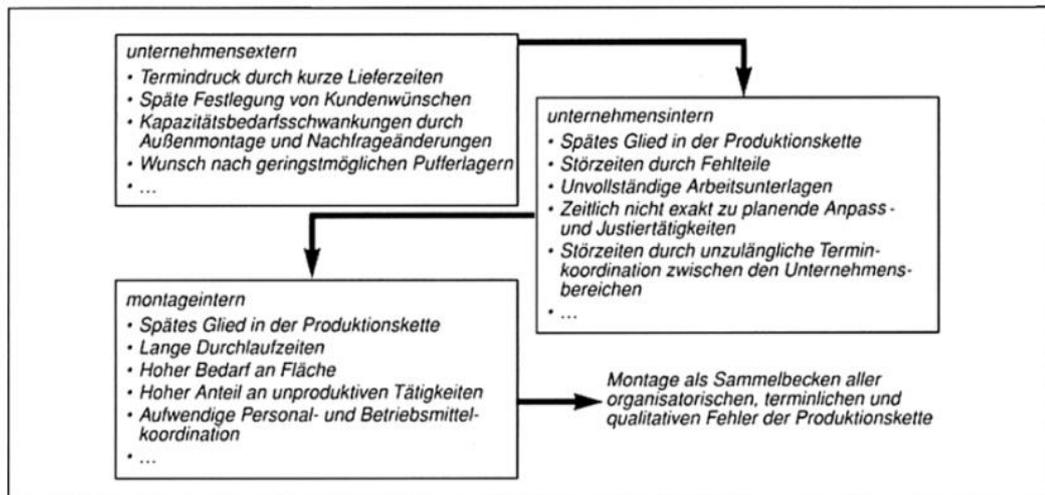


Abbildung 5: Stellung der Montage im Produktionsprozess[3]

### 1.5.2 Ökonomische Relevanz

Neben der Teilefertigung ist die Montage der wichtigste Bestandteil der industriellen Produktion. Die zu einem Produkt zusammengebauten Komponenten machen durchschnittlich 40% bis 60% der gesamten Produktionszeit und je nach Produkt bis zu 40% der Produktionskosten aus (Tabelle 1). Da der größte Teil der Montage manuell erfolgt, ist dies die lohnintensivste Produktionsform. Die Montage macht etwa 25% der in der Produktion verwendeten Baugruppe aus und hat einen hohen Mehrwert.

Aufgrund der mangelnden Flexibilität ist der Automatisierungsgrad im Vergleich zur Herstellung von Einzelteilen gering, so dass ein hoher Automatisierungsgrad nur im Bereich der Groß- und Großproduktion (elektrische Produkte, Automobilbau) erreicht werden kann. Daher ist das von den Betriebsmitteln belegte Kapital geringer als das für die Teilefertigung erforderliche Kapital. Die Montage haben jedoch einen großen Einfluss auf die Kapitalinvestition, da die Materialien, die in die

Komponenten gelangen und dort gelagert werden, normalerweise von hoher Qualität sind und ihr eigener Wert während des Montageprozesses stark erhöht wird. Daher sollte eine zeitliche Einordnung von Montagevorgängen im Produktionsprozess darauf abzielen, die Zwischenlager zu minimieren und in späteren Phasen Anteile mit hoher Wertschöpfung einzuführen.

<b>Montagebezogene Kenngrößen (Anteilig an der gesamten Produktion)</b>	<b>Werkzeugmaschinen (Einzelmontage)</b>	<b>Motorenbau (Serienmontage)</b>	<b>Mittelwerte</b>
<b>antlg. Durchlaufzeit</b>	<b>40–70 %</b>	<b>25–45 %</b>	<b>25–35 %</b>
<b>Flächenanteil</b>	<b>40 %</b>	<b>40 %</b>	<b>35 %</b>
<b>Kostenanteil</b>	<b>35 %</b>	<b>25 %</b>	<b>25 %</b>
<b>Anteil der Facharbeiter in der Montage</b>	<b>90 %</b>	<b>38 %</b>	<b>75 %</b>
<b>Lohnkostenanteil in der Montage</b>	<b>55 %</b>	<b>40 %</b>	<b>45 %</b>

*Tabelle 1: Kennwerte der Montage für Produkte aus dem Bereich Maschinenbau nach Eversheim (Eversheim, W. 1992) und VDMA (VDMA, 1993)[3]*

## 1.6 Planung von Montageabläufen und -systemen

### 1.6.1 Aufgaben und Ziele

Als Teil des Produktionsplans ist der Montageplan seine Aufgabe, die objektorientierte Montageauftrags durch eine optimale Kombination der Betriebsressourcen im Montagesystem zu lösen. Dies erfolgt durch Festlegung und Zuweisen der Funktion, Position und Zeiten der Montage (Abb. 6).

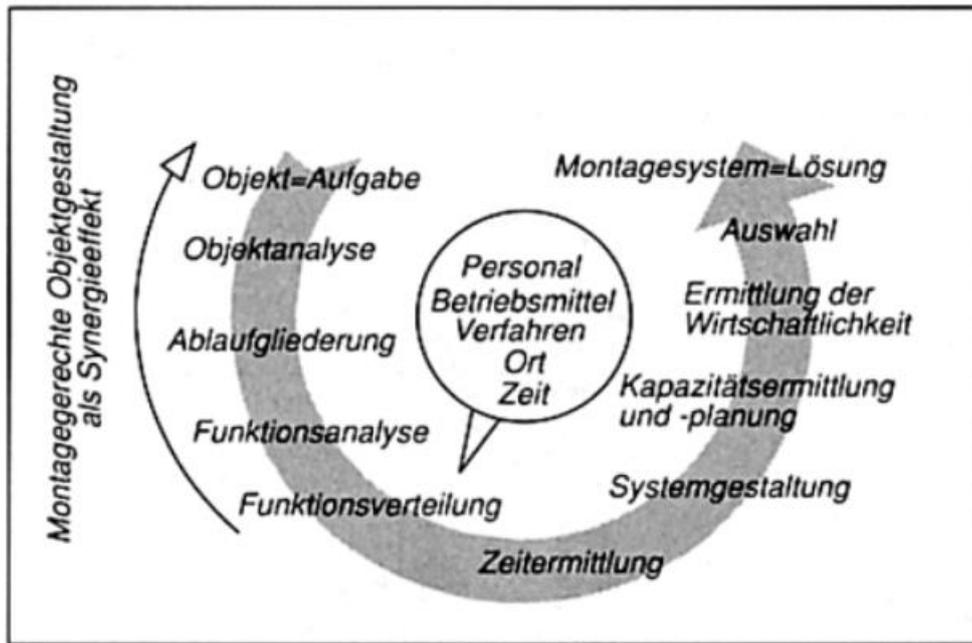


Abbildung 6: Vorgehen in der Montageplanung[3]

Initiiert durch die im Montageobjekt implizierte Aufgabenstellung schafft die in einen Mikro- (Planung der Arbeitsabläufe am Arbeitsplatz, Feinplanung) und einen Makrobereich (Arbeitsablauf im Gesamtsystem, Grobplanung) gegliederte Montageplanung Arbeitspotenzial und bereitet die Durchführung der Prozesse vor. Weiterhin muss das geplante System technisch und wirtschaftlich bewertet werden.

Die Verkürzung der Produktlebenszyklen und die Erhöhung der Anzahl der Typen und Varianten und somit sinkende Losgrößen haben die Rationalisierung (insbesondere bei der Montage) erschwert. Daher muss der Zweck des Montageplans darin bestehen, sekundäre Montagekomponenten ohne Mehrwert zu reduzieren (Lotter, B. 1992). Mögliche Ansätze sind die Parallelschaltung von Montageabschnitten, die Integration der Qualitätssicherung, die Einführung einer geeigneten Arbeitsplatzstruktur und die Montagevorbereitung.[3]

## 1.6.2 Planungsaspekte

### a) Objekt

Ausgehend vom Montageobjekt besteht das Ziel darin, die Baugruppe in Bezug auf Planung und Implementierung sicher und kostengünstig zu gestalten. Für die Montage geeignete Produktdesigns können einen adaptiven fügeverfahren verwenden und erfordern eine integrierte Durchführung von Konstruktion und Montageplanung. Selbst wenn die Konstruktion nur durchschnittlich 12% der Produktionskosten verursacht (im Vergleich zu nur 60% der Montagekosten), werden sie 75% der Kosten getragen (die Montagekosten betragen 13%). Neben der Erstellung von Varianten, die später durchgeführt werden sollen, können mithilfe von objektorientierten ABC-Analyse Produktgruppen erstellt und Unterbaugruppen zusammengesetzt werden, um die Serieneigenschaften trotz kleiner Losgrößen zu verbessern.

Durch die systemübergreifende Integration des Produktionsprozesses der einzelnen Teile in die Montage sowie durch Prozessverkettung mit vor- und nachgelagerten Produktionsschritten können Schnittstellenprobleme (z. B. Material- und Informationsfluss) und notwendige Steuerungskosten reduziert werden. Außerdem sollten während des Montageprozesses Maßnahmen zur Sicherstellung der Produktqualität getroffen worden sein.

### b) Personelle, betriebsmittelbezogene und räumliche Aspekte

Zunächst ist zu klären, ob (Teil-) Montage innerhalb oder außerhalb des Unternehmens durchgeführt wird. Im Rahmen der Echtzeitproduktion werden verschiedene Konzepte der außerbetrieblichen Verlagerung verwendet. Die erforderliche Zulieferer-Abnehmer -Beziehung, die erforderlichen Logistkarbeiten und das Risiko einer Systeminstabilität aufgrund fehlender Teile oder schlechter Qualität müssen berücksichtigt werden, um die Kosteneffizienz zu überprüfen.

Außerdem muss in Bezug auf Aspekte im Zusammenhang mit ausländischen Märkten eine Entscheidung zwischen in- und ausländischen Versammlungsformularen getroffen werden.

Das Unternehmen wählt Ressourcen mit den relevanten Fähigkeiten des Personals, der Funktionsfähigkeit des Montageprozesses und der entscheidenden Funktionszuweisung aus. Das Systemdesign bestimmt auch den Grad der Technologie- und Funktionsteilung und Automatisierung. Bei der Bestimmung der Montagezeit (z. B. Verwendung eines vorgegebenen Zeitsystems oder der Maschinenzkluszeit) muss auch der Einrichtungs- und Vorbereitungsprozess der Station berücksichtigt werden, um die Produktionszeit zu minimieren.

#### c) Zeitliche und logistische Aspekte

Die Montageplanung muss speziell insb. abzielen, die Produktionszeit von allgemein hochwertigen Materialien in der Montage zu verkürzen, um das eingesetzte Betriebskapital zu reduzieren. Dies wird durch die dynamische Optimierung der Kapazitätsplanung und der Organisation des Materialflusses sowie durch die Verwendung von Just-in-Time- und Kanban-Zerlegungsstrategien für temporäre Speicher möglich.

Mit zunehmenden Arten von Varianten steigen auch die logistischen Anforderungen für die Montageplanung, die die Forderungen einer Nutzung der betrieblichen Montageressourcen und einer zeitnahen Kombination variantenbezogener Komponenten erfüllen müssen.

#### 1.6.3 Planungshilfsmittel

Bei der Planung des Montagesystems sollte die Synergie des simultanen Engineerings genutzt werden, indem Teams gebildet werden, die die Systemgrenzen überschreiten.

## 1.7 Steuerung und Betrieb der Montage

Im Rahmen der mittelfristigen Planungen umfasst die Steuerung des Montageprozesses und -systems die Festlegung des Arbeitsvorrats in Abhängigkeit vom Kapazitätsangebot, die Bereitstellung von Material und Informationen durch Erstellung von Aufträgen und Arbeitspapieren sowie die Planung des Personaleinsatzes.

Kurzfristig müssen die Materialien durch Transport und Zwischenlagerung, Koordination des Personaleinsatzes und Überwachung des Montagefortschritts und der Qualitätsanforderungen kontrolliert werden. Die wichtige Aufgabe der Montagesteuerung ist nach wie vor das Wartungsmanagement, um technische, organisatorische und logistische Probleme zu vermeiden oder zu beheben. Im Vergleich zur Produktion von Einzelteilen tritt dieses Risiko bei der Montage aufgrund des Layouts des Produktionsprozesses auf.

Ziel einer optimierten Montagesteuerung ist die Einhaltung von Fristen mit kurzen Bearbeitungszeiten und minimaler Umlaufkapitalbindung. Es wird auch versucht, die relevanten Komponenten während der Montage der Variante zu steuern und gleichzeitig eine stabile Reihenfolge festzulegen, damit die Fähigkeiten des Personals und der Betriebsressourcen hoch und gleichmäßig genutzt werden können.

Die Struktur der Kontrollorganisation als Regelkreis (Abb. 7) kann Planungsdaten und Montagefortschritt dynamisch vergleichen.

Zur Steuerung der Montage werden ein belastungsorientiertes Bestellplatzierungsmodell, ein Kanban-System und das Konzept der Fortschrittszahlen verwendet. Eine wichtige Organisationsform der kurzfristigen Montagesteuerung ist die konventionelle Meistersteuerung (bestehend aus einem Meister-Vorarbeiter-Montagepersonal/Springer-System). Zunehmend werden Konzepte selbststeuernder Montagegruppen eingesetzt, in denen Meister lediglich beratende Funktionen einnehmen und Gruppenleiter als informatorisches Bindeglied unter Verteilung dispositiver Funktionen eingesetzt werden.[3]

Die montageorientierte Auftragsabwicklung umfasst weitere Produktionsbereiche in der Steuerung. Die Montagestation befindet sich am Anfang der Auftragsabwicklung und damit am Anfang der Informationskette, obwohl sie sich am Ende des Materialflusses befindet und Aufträge über die gesamte Verarbeitungskette zieht (Eversheim, W. 1987).[3]

Das computergestützte PPS-System bietet Unterstützung, die auch die Integration von CAQ-Komponenten ermöglichen sollte (Milberg, J. 1992). Der Erfolg, der durch die Verwendung von CIM-Komponenten erzielt wird, um eine schnelle Reaktion und damit eine flexible Montagesteuerung zu erzielen, spiegelt sich in einer erhöhten Materialverfügbarkeit und einer stark reduzierten Montagezeit und Lagerbestände wider.[3]

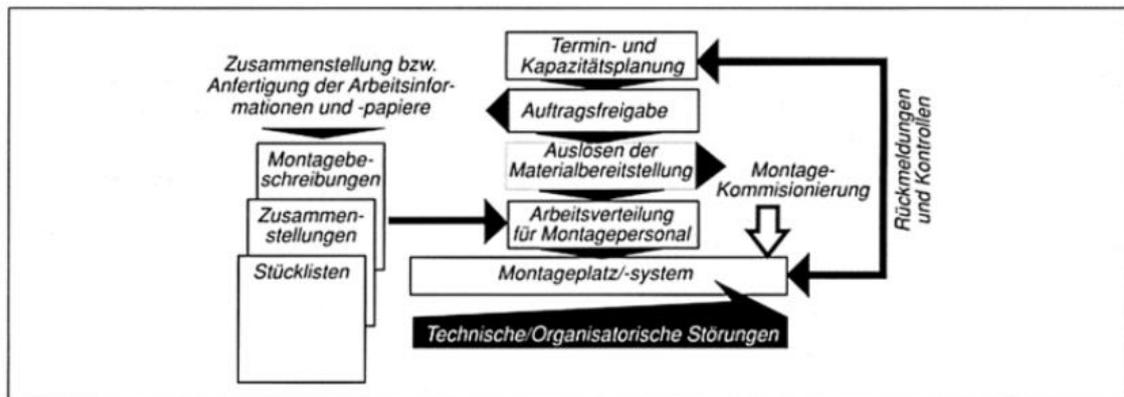


Abbildung 7: Regelkreismodell der Montagesteuerung[3]

## 2. Steckverbindungen aus stangenförmigen genormten Profilverbindungen

### 2.1 Steckverbindung

#### Definition

Steckverbindungen im Zusammenhang mit dem Thema sind zur Verbindung von stangenförmigen genormten Profilverbindungen durch Verbindungselementen.

#### Verbindungselementen

Verbindungselemente verbinden einzelne Komponenten zu einem technischen System wie einer Baugruppe oder einer ganzen Maschine. Es wird durch geklebte, reibungsbasierte und mechanisch verriegelte Verbindungen unterschieden. Einen besonderen Fall bilden elastische Befestigungselemente wie Federn oder Gummibänder.[4]

- Eine Klebeverbindung liegt vor, wenn Elemente an den Verbindungen mit oder ohne Hilfsmaterial zu einer dauerhaft verbundenen Einheit verbunden werden, beispielsweise bei Schweiß-, Löt- und Klebeverbindungen.
- Bei Reibschluss wirken tangential (Reibungs-) Kräfte den Verschiebungskräften entgegen, die beim Spannen an den Verbindungspunkten entstehen (Befestigungen mit Keilen, Klemmelementen und Nieten sowie Klemm- / Pressverbindungen).
- Bei Formschluss werden Kräfte über Formteile (Keile) übertragen, die auch dazu beitragen, eine Verschiebung zu verhindern (Schlüsselverbindungen, Bolzenbefestigungen und Stiftverbindungen).

Formschluss und Reibschluss werden normalerweise zusammen verwendet, wie Schlüssel, Bolzenbefestigung und Schraubverbindung. Die Kombination der oben genannten Komponenten ist schwierig oder fast unmöglich zu berechnen, da die Arbeitsteilung für jede Komponente nicht klar ist.

## 2.2 Profile

### 2.2.1 Konstruktionsprofil (Aluminiumprofil)

Konstruktionsprofile sind normalerweise durch Strangpressverfahren meist aus Aluminium oder seltener aus anderen Metallen hergestellte längliche Halbzeuge.[5] Die Konstruktionsprofilgrößen und Profilgeometrien sowie die Verbindungselemente und das Funktionszubehör sind unterschiedlich. Sie werden hauptsächlich im Maschinenbau und in der Automatisierungstechnik für Gestellunterbauten, Verkleidungen, Schutzvorrichtungen und Funktionsapplikationen verwendet. Aluminiumkonstruktionsprofile sind leicht und haben eine ideale Duktilität, so dass sie sehr individuell verwendet werden können. Die meisten Profile haben Längsnuten, in denen Nutensteine eingeschoben oder eingeschwenkt werden können. Diese Nutensteine haben ein Gewindeloch und können in der Nut bewegen. Daher kann die Nutensteine als – in Längsrichtung frei verschiebbare – Gewindebohrung bezeichnet werden, was für die moderne Maschinenherstellung große Vorteile hat.

### 2.2.2 Stahlprofil

Die Eigenschaften von Stahl sind hohe Festigkeit, geringes Gewicht, gute Gesamtsteifigkeit und starke Verformungsbeständigkeit. Daher eignet es sich besonders für den Bau von Gebäuden mit großer Spannweite, hoher Höhe und hoher Schwere. Das Material weist eine gute Homogenität und Isotropie auf, was eine ideale Elastizität darstellt Die Struktur entspricht am ehesten den Grundannahmen der allgemeinen technischen Mechanik: Das Material weist eine gute Plastizität und Zähigkeit auf, kann große Verformungen aufweisen und dynamischen Belastungen gut standhalten, die Bauzeit ist kurz, sein Industrialisierungsgrad ist hoch und es kann sich um eine spezialisierte Produktion mit einem hohen Mechanisierungsgrad handeln.

## 2.3 Verbindungstechnik

### 2.3.1 Verbindungstechnik von Aluminiumprofilen

Die Aluminiumstrukturprofile werden üblicherweise geschraubt oder geklemmt. Jeder Anbieter bietet eine oder mehrere Verbindungstechniken an. Der Hauptunterschied besteht darin, ob die Profile an den Enden eine bearbeitet werden müssen oder nicht.[5]

- Mit Bearbeitung der Profilenden[5]

Die einfachste Form der Verbindung ist die Schraubverbindung, bei der eine Durchgangsbohrung in einem Profil eingebracht werden muss. Die Schrauben werden in den Schraubenkanal des Gegenprofils geschraubt. Es gibt auch viele spezielle Verbindungssätze, die alle eine mehr oder weniger komplexe Bearbeitung am Ende des Profils erfordern. Im Allgemeinen wird dabei das Konstruktionsprofil durch die Bearbeitung in der Gesamtstruktur geschwächt.

- Ohne Bearbeitung der Profilenden[5]

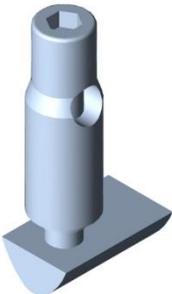
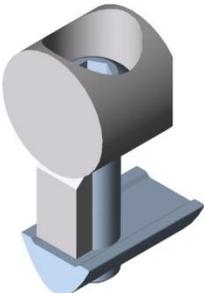
Es werden bearbeitungslose Verbindungstechniken angeboten. Bei den Spannbügel- oder Flanschleistenverbindungen wird das Profilende nicht „verletzt“ – es bleibt in seiner Struktur erhalten. Des Weiteren fallen keine Bearbeitungskosten an und die Profile können für andere Aufgaben wieder verwendet werden.

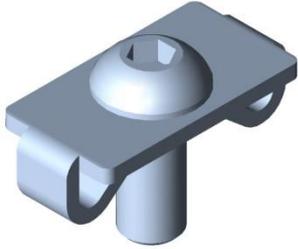
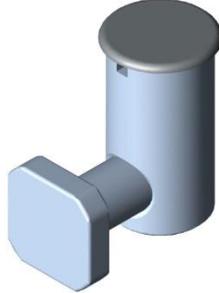
Unterschiedliche Verbindungselemente und Verbindungstechniken eignen sich für unterschiedliche Verbindungsmethoden. Auf die Situation unterschiedlicher Profilverbindungsanforderungen gibt es hauptsächlich die folgenden Verbindungsmöglichkeiten.

- Rechtwinklige Verbindungen
- Verbindungen in Winkellage
- Verbindungen kreuzender Profile
- Stoßverbindungen
- Verbindungen paralleler Profile

Unter jeder Verbindungsform stehen auch verschiedene Verbindungselemente zur Auswahl. Die Verbindungselemente unterscheiden sich im Bearbeitungsaufwand und in den Möglichkeiten nachträglicher Montage bzw. Verschiebbarkeit der Verbindungen längs der Nut. Zum Beispiel gibt es verschiedene Arten von Verbindungselementen, die wir für die rechtwinklige Verbindung auswählen können.

Die am häufigsten verwendeten Verbindungsvarianten für Aluminiumprofile sind in der folgenden Tabelle gezeigt: (Tabelle 2)

Rechtwinklige Verbindungen		
Automatik-Verbindungssätze		
Eigenschaft	Die schnellste und flexibelste Profilverbindung	
Universal-Verbindungssätze		
Eigenschaft	Die hochfeste und flexible Profilverbindung	

Standard- Verbindungssätze		
Eigenschaft	Profile stabil und ortsfest verschrauben	
Zentral- Verbindungssatz		
Eigenschaft	zum Bau von Rahmen für Flächenelemente	

*Tabelle 2: Verbindungsvarianten für Aluminiumprofile*

Aufgrund der unterschiedlichen Verbindungsformen der Profile und der erforderlichen Verbindungselemente weist das Montagesystem auch eine Vielfalt auf.

### 2.3.2 Verbindungstechnik von Stahlprofilen

#### Nieten

Nieten bestehen aus Nietstahl mit guter Formbarkeit. Der Nietvorgang besteht darin, zuerst eine Bohrung in ein zu verbindendes Teil zu machen, dessen Durchmesser 1,0 bis 1,5 mm größer ist als der Durchmesser des Nagels. Erhitzt man dann den Niet mit einem Halbrundkopf einem Ende auf eine kirschrote Farbe und stopfen ihn in die Bohrung. Danach verwendet man dann eine Nietpistole oder eine Nietmaschine, um den Niet zu nieten, um das Loch zu füllen und einen weiteren Nietkopf herzustellen. Der Niet kühlt und schrumpft nach dem Nieten und erzeugt eine Klemmkraft auf das verbundene Plattenbündel, was sich gut auf die Kraftübertragung auswirkt. Die Zähigkeit und Plastizität der Nietverbindung sind besser. Das Nieten ist jedoch

arbeitsintensiver als das Schrauben und teurer als das Schweißen. Es wird nur für Stahlkonstruktionen mit großer Spannweite verwendet, die größere dynamische Belastungen tragen. Unter normalen Umständen wird es im Werk fast durch Schweißen und fast durch eine hochfeste Schraubverbindung ersetzt.

### Schraubenverbindungen

Eine Schraubenverbindung ist eine lösbare Verbindung von zwei oder mehreren Teilen, die durch eine oder mehrere Gewindestangen (meist Schrauben) mit Außengewinde und Bauteilen mit Innengewinde (meist Muttern) verbunden wird. Durch das Drehen der Schraube oder der Mutter erfolgt ein Gleiten im Gewinde zwischen den Gewindeflanken und somit ergibt sich auch eine Längsbewegung, wobei zwischen beiden Formschluss erzielt wird.

## 2.4 Einsätze

### 2.4.1 Einsätze von Aluminiumprofilen

1. Aluminiumprofile werden von Herstellern automatisierter Montagelinien und Materialförderanlagen verwendet. Sie können für automatisierte Fließbandstützen wie Transportbandstützen, Schienen von Stapler und Shuttle usw. angepasst werden.
2. Werkbänke, Konsolen usw. in der Elektronikindustrie werden aus Aluminiumprofilen und Aluminiumlegierungsplatten oder anderen Materialien zusammengesetzt.
3. Die Autoteilemontageindustrie benötigt nicht nur Werkbänke, sondern auch Industriezäune und Aluminiumprofile. Viele Autoteile werden auch aus Aluminiumprofilen hergestellt.
4. Außenwerbung und Bühnenbau benötigen ebenfalls Aluminiumprofile als Rahmen. Außenwerbung und Bühnen aus Aluminiumprofilrahmen sehen nicht nur elegant aus, sondern sind auch recycelbar.

Z. B. das Produkt von Aluminiumprofile (Abb. 8)



*Abbildung 8: Aluminiumprodukt: Transportwagen[6]*

#### 2.4.2 Einsätze von Stahlprofilen

Stahlprofil kann entsprechend seiner Querschnittsform in I-Profil, U-Profil, L-Profil, Rund- und Vierkantrohr usw. unterteilt werden. I-Profile, U-Profile und U-Profile werden häufig in Industriegebäuden und Metallkonstruktionen wie Fabrikgebäuden, Brücken, Schiffen, der Herstellung von landwirtschaftlichen Maschinen und Fahrzeugen, Kraftübertragungstürmen und Transportmaschinen verwendet. Flachstahl wird auf Baustellen als Brücken, Hausbinder, Zäune, Kraftübertragungsschiffe, Fahrzeuge usw. verwendet. Rundstahl und Vierkantstahl werden als verschiedene mechanische Teile, landwirtschaftliche Maschinenteile, Werkzeuge usw. verwendet.

## 2.5 Gegenwärtiger Stand der Montagesystemauslegung über Steckverbindungstechnik von Profilen

### 2.5.1 Über Aluminiumprofile

Derzeit gibt es keine Unternehmen und Montagezentren, die sich der automatisierten Steckverbindung von Aluminiumprofilen widmen, sondern nur einige Roboter, die automatisierte Montage von Aluminiumprofilen realisieren können. Da Aluminiumprofile leicht und einfach zu montieren sind, werden sie in der Regel manuell verbunden. Beispielsweise wird der Rahmen einer großen Presse normalerweise direkt von Technikern auf der Baustelle zusammengebaut. Z.B. um den Rahmen einer großen Presse zu installieren, montieren Techniker im Allgemeinen Profile oder Komponenten von Profilen direkt auf der Baustelle oder Werkstatt.

In Abbildung 9 ist ein Umlaufende Montagebühne mit zwei Ebenen. Sicheres Arbeiten auf mehreren Ebenen ermöglicht diese große Bühne. Sie besteht aus einem statischen Teil mit stabilen Standfüßen und einem entkoppelbaren Abschnitt auf Rollen. So lassen sich Montagebaugruppe in den zentralen Arbeitsbereich einbringen. Große Produkte wie Bühnen und Gestelle sind als Ganzes schwer zu transportieren und werden direkt auf der Baustelle montiert. Da jedoch zu viele Teile vorhanden sind, werden einige Teile im Voraus montiert, und diese Teile können durch das Montagezentrum geführt werden durchführen.



*Abbildung 9: Umlaufende Montagebühne mit zwei Ebenen[7]*

Bei einigen großen Projekten und in der Automobilindustrie wird jedoch im Allgemeinen das Schweißen anstelle der Steckverbindung verwendet, um die Festigkeit sicherzustellen. Beispielsweise wird Schweißen oder Stahl häufig bei der Herstellung von Schiffsteilen, Flugzeugteilen, Trägern und anderen großen Komponenten oder Industrieanlagen verwendet.[7]

Bei diesen kleinen und mittleren Produkten kann die vom Roboter gesteuerte Montagelinie den größten Teil oder sogar die gesamte Arbeit erledigen. In Abbildung 10 ist ein Schwerlast-Werkstückträger. Mit dem rollbaren Schwerlast-Werkstückträger kann man auch massive Bauteile sicher bewegen. Der Rahmen besteht aus besonders biegesteifen Aluminiumprofilen der Baureihe. Das Transportgut wird durch eine einfach anpassbare Klemmung fixiert. Der Klick-Verbindungssatz ermöglicht, Profile in die Nut des Rahmens einzuklicken, im Winkel auszurichten und mit einer einzelnen Schraube festzuziehen. Schwerlastrollen für hohe Radlasten sorgen für dauerhaft zuverlässigen Transport. Dieses Produkt kann von einem von einem Roboter gesteuerten Montagezentrum hergestellt werden. Wegen seines nicht großen Volumens und Masse

eignet es sich für die Montage auf Förderbändern und Werkbänken und erfordert bei der zukünftigen Verwendung nicht oft Montage und Demontage.



*Abbildung 10: Schwerlast-Werkstückträger[8]*

## 2.5.2 Über Stahlprofile

Gegenwärtig gibt es hauptsächlich drei Verbindungsmethoden für Stahlprofile, nämlich Schweißen, Nieten und Schraubenverbindung. Wobei Schweißen keine Steckverbindung ist.

Generell werden kleine Stahlkonstruktionen wie Maschinen- und Gerätegestelle direkt auf Baustellen und Werkstätten montiert. Denn diese Gestelle werden entsprechend der Form und Größe der verschiedenen Geräte und den Baustellenbedingungen auf der Baustelle und in der Werkstatt ausgelegt. Wenn sie über das flexible Montagesystem ausgeführt werden, sind die Kosten höher und die Transportkosten des fertigen Produkts nach der Montage werden ebenfalls höher.

Diese Stahlkonstruktionen mit größeren Ausmaßen vielfach im Schiff-, Industrie- und Brückenbau verwendet werden, z.B. Träger, eignen sich für die Massenproduktion über Montagelinien. Es gibt einige normale Herstellungsweise zu Träger, wie Träger-Montagelinie, "All-in-One"-Trägerbearbeitung, Multiprozessroboter auf Spur, Trägerschweißportal usw.

### 3. Wichtigste Einrichtungen für Aluminiumprofilverbindungen

Die wichtigste Ausrüstung im Produktionsprozess der Aluminium-Steckverbindung ist der Industrieroboter.

#### 3.1 LBR iiwa aus KUKA

Ein Roboter aus KUKA—LBR iiwa. Mit dem LBR iiwa – Leichtbauroboter für sensitive Montagearbeiten – weichen Schutzzäune aus dem Arbeitsraum und machen den Weg frei für die Mensch-Roboter-Kollaboration. LBR iiwa ist in der Abbildung 11 dargestellt.



*Abbildung 11: LBR iiwa[9]*

Sie können sich autonom bewegen, fühlen, direkt mit Menschen kooperieren. Sie beschicken und entladen Maschinen, transportieren Werkzeuge. Die sensorischen Fähigkeiten intelligenter Roboter reichen weit über den Nahbereich von Werkstück und Werker hinaus. Sie orientieren sich auch im Raum eigenständig, gehen millimetergenau für neue Automatisierungsaufgaben in Position.

Sie sind für diese Einsatzbereiche geeignet: Auftragen/Lackieren/Kleben, Montieren, Palettieren / Verpacken, Handling Messen/Prüfen, Mechanisches Bearbeiten usw.

Dieser Roboter verfügt über verschiedene Modelle, die an unterschiedliche Arbeitsumgebungen und Produkte angepasst sind. In Tabelle 3 und 4 sind drei Modelle und Teil der Daten im Überblick dargestellt.

	LBR iiwa 7 R800	LBR iiwa 7 R800 CR	LBR iiwa 14 R820
Traglast	7 kg	7 kg	14 kg
Max. Reichweite	800 mm	800 mm	820 mm
Bauform	Standard	Standard	Standard
Ausführung Umgebung	Standard	Cleanroom	Standard
Einbaulage(n)	Boden Decke Wand	Boden	Boden Decke Wand
Schutzart	IP 54	IP 54	IP 54
Datenblatt	<a href="#">PDF für LBR iiwa 7 R800</a>	<a href="#">Dokumente für LBR iiwa 7 R800 CR</a>	<a href="#">PDF für LBR iiwa 14 R820</a>

Tabelle 3: Drei Modelle und Daten im Überblick[9]

	Achsdaren/Bewegungsbereich	Maximalmoment	Maximalgeschwindigkeit
Ache 1(A1)	±170°	320Nm	85°/s
Ache 2(A2)	±120°	320Nm	85°/s
Ache 3(A3)	±170°	176Nm	100°/s
Ache 4(A4)	±120°	176Nm	75°/s
Ache 5(A5)	±170°	110Nm	130°/s
Ache 6(A6)	±120°	40Nm	135°/s
Ache 7(A7)	±175°	40Nm	135°/s

Traglast	14kg
Max. Reichweite	820mm
Wiederholgenauigkeit	±1mm
Gewicht	29,9kg
Schutzart	IP54
Nenn-Anschlussspannung	AC 110V bis 230V
Achsspezifische Momentengenauigkeit	±2%
Einbaulage	beliebig
Anzahl Achsen	7

Tabelle 4: Technische Daten[9]

### 3.2 Yuanda Roboter aus Yuanda Robotik GmbH

Der zweite Roboter ist ein Roboter mit sechs Achsen von Yuanda GmbH. (Abb. 12)

Vielseitig und kosteneffizient: Der kollaborative Roboter ist ein Allmächtiges Elektrowerkzeug, das bei geringen Investitionskosten schnell integriert werden kann. Es ist in der Lage, empfindliche Präzisionsoperationen in verschiedenen industriellen Umgebungen durchzuführen, von manuellen bis zu halb- und vollautomatisierten Prozessen.



*Abbildung 12: Yuanda Roboter[10]*

Sie sind für diese Einsatzbereiche geeignet: Bestückung, Qualitätskontrolle, Maschinenpflege, Schraubenfahren, Montage, Kleben usw.

Technische Daten: (Tabelle 5)

Traglast	7kg
Anzahl Achsen	6
Reichweite	maximal 850 mm maximal 1000mm (mit 5 kg Nutzlast)
Vision	Integrierte 2D-Vision mit zwei Hochleistungs-LEDs
Sensibilität	Drehmomentsensoren in jeder Achse
Maschinelles Lernen und KI	Integrierte neuronale Verarbeitungseinheit
Wiederholgenauigkeit	0,05mm
Gelenkwinkelgrenzen	Max. $\pm 220^\circ$
Maximale Gelenkgeschwindigkeit	Achse 1: 141 $^\circ/s$
	Achse 2: 141 $^\circ/s$
	Achse 3: 169 $^\circ/s$
	Achse 4: 180 $^\circ/s$
	Achse 5: 180 $^\circ/s$
	Achse 6: 180 $^\circ/s$
Gewicht	29kg
Schutzart	IP54
Nenn-Anschlussspannung	200–253 VAC, 47–63 Hz
Umweltbedingungen	Temperatur: 5–40 $^\circ C$
	Luftfeuchtigkeit: 80% rF

*Tabelle 5: Technische Daten von Yuanda Roboter[10]*

### 3.3 CR-14iA/L aus FANUC

Der CR-14iA/L Roboter ist ein spezieller kollaborierender Roboter von FANUC. (Abb. 3.3(a) Er wurde für sicheres und effizientes Arbeiten entwickelt. Dank der Kombination der Reichweite, Nutzlast und Größe kann er in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, z.B. zum Be- und Entladen von Maschinen oder für andere Aufgaben der Fabrikautomatisierung. Er kann uns in Bereichen unterstützen, in denen nicht genug Platz für große Roboter ist, in denen aber eine hohe Nutzlast und eine große Reichweite erforderlich sind. Seine Eigenschaften und Vorteile können aufgrund der einfachen Programmierung und der Handführung zum Anlernen und Umgang einfach und unkompliziert genutzt werden.



Abbildung 13: CR-14iA/L[11]

Technische Daten: (Tabelle 6)

Traglast	14kg
Anzahl Achsen	6
Reichweite	maximal 820 mm (Traglast >12 kg)
	maximal 911 mm (Traglast <12 kg)
Wiederholgenauigkeit	0,01mm
Gelenkwinkelgrenzen	Max. $\pm 220^\circ$
Arbeitsbereich	Achse 1: $340^\circ$
	Achse 2: $166^\circ$
	Achse 3: $383^\circ$
	Achse 4: $380^\circ$
	Achse 5: $240^\circ$
	Achse 6: $720^\circ$
Gewicht	55kg
Schutzart	IP67
Nenn-Anschlussspannung	200–253 VAC, 47–63 Hz
Umweltbedingungen	Temperatur: 0-45 °C
Achsgeschwindigkeit	500 mm/s

*Tabelle 6: CR-14iA/L[11]*

## 4. Auslegung und Bewertung der Lösungsvarianten

### 4.1 Auslegung und Bewertung der Einrichtungen für Aluminiumprofile

Um diese drei Roboter auszuwählen und zu vergleichen, werden ihre Vorteile aufgelistet. Diese Fähigkeiten spielen eine wichtige Rolle bei der Bewertung

#### 4.1.1 LBR iiwa von KUKA



Abbildung 14: KUKA LBR iiwa[9]

Sie haben ganz offensichtliche Vorteile:[11]

1. Wegbereiter der sicheren Mensch-Roboter-Kollaboration
2. Mehr Produktivität durch selbstjustierende Robotik
3. Mehr als 30000 h Betriebsstunden
4. Agil durch Leichtbau und kürzeste Reaktionszeiten
5. Der Schutzzaun entfällt. Und viele Kosten entfallen ebenso.
6. Teachen durch Vormachen
7. Intuitives Bedienen allein über Gesten
8. Auf sicheres Arbeiten sensibilisier
9. Sieben Achsen für maximale Vielseitigkeit
10. Kompromisslose Genauigkeit
11. Geringste Toleranzen, hohe Bahngenauigkeit
12. Leistungsstarke Medien-Flansche

#### 4.1.2 Yuanda Roboter



Abbildung 15: Yuanda Roboter[10]

#### Vorteile:

1. Out-of-the-Box-Setup und nahtlose Integration
2. Schnelle Anpassung an eine Vielzahl unterschiedlicher Produktionsprozesse
3. Integrierte Drehmomentsensoren für Anpassungsfähigkeit, Fehlertoleranz und Sicherheit
4. Intuitive Hardwareschnittstellen für direkte Interaktion und Steuerung
5. Modernstes Design der Benutzeroberfläche für schnelle Arbeitsabläufe
6. Extrem hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit
7. Robotergeführtes Lernen und Prozessanpassungen in Echtzeit
8. Visuelle Prozessüberwachung und Unterscheidung zwischen guten und schlechten Fällen
9. Umweltorientierung durch Bezugspunkte

#### 4.1.3 CR-14iA/L von FANUC



*Abbildung 16: CR-14iA/L[11]*

#### Vorteile:

1. Verwendung FANUC-Force Sensor in die Basis zum Schutz der menschlichen Sicherheit
2. Schnelles Lernen über das FANUC Teach Pendant oder ein Offline-Gerät
3. Objekterkennung mit FANUC Kamera System oder FANUC 3D Area
4. Maximale Flexibilität im Produktionsbereich
5. Sparen des Arbeitsraums mit kleinem Volumen

## 4.2 Bewertungskriterien und Ergebnis

### 4.2.1 Bewertungsregel

Für die Bewertung von Industrierobotern, die die Steckverbindung von Aluminiumprofilen realisieren, werden die folgenden wichtigen Eigenschaften aufgeführt.

Jede Fähigkeit hat eine entsprechende Punktzahl, und die Summe dieser Punkte bestimmt ihre Rangfolge. Aufgrund der unterschiedlichen Wichtigkeit jeder Fähigkeit ist auch die Obergrenze ihrer Punktzahlen unterschiedlich. Die Mindestpunktzahl für jede Fähigkeit ist Null. Je höher die Punkte der Roboter hat, desto bessere Leistung hat er.

<b>Aspekte:</b>	<b>Max. Punktzahl:</b>
Traglast	3
Freiheit	2
Genauigkeit	3
Reichweite	2
Gewicht	2
Geschwindigkeit	3
Vision	3
Raumkosten	2
Sicherheit	3
Benutzerfreundlichkeit	2
Einsatzbereiche	2

*Tabelle 7: Die zu bewertenden Fähigkeit und ihre höchste Punktzahl*

### 4.2.2 Ergebnis

	LBR iiwa	Yuanda	CR-14iA/L
Traglast	3	1	3
Freiheit	2	1	1
Genauigkeit	1	2	3

Reichweite	1	3	2
Gewicht	2	2	1
Geschwindigkeit	2	3	2
Vision	3	2	3
Raumkosten	2	2	1
Sicherheit	2	2	3
Benutzerfreundlichkeit	2	2	2
Einsatzbereiche	2	1	1
Summe	22	21	22
Rang	1	3	1

*Tabelle 8: Ergebnis der Bewertungskriterien*

#### 4.3 Begründung der Auswahl

Durch die Bewertung dieser drei Roboter stehen LBR iiwa und CR-14iA/L beiden auf dem ersten Platz. Da nur eine davon ausgewählt werden kann, ist LBR iiwa ein bisschen besser geeignet. Da KUKA eine deutsche Marke ist, wird die Reserve an Ersatzteilen und Zubehör ausreichen. Dies ist in Notfällen besonders wichtig. Er wurde aus folgenden Gründen ausgewählt:

- Ausreichende Tragfähigkeit
- Höchster Freiheitsgrad
- Ausgereiftes Roboter-Vision-System
- Lange Betriebsstunden
- Gute Lernfähigkeit
- Sicher
- Praxis in vielen bekannten Unternehmen
- Benutzerfreundlich
- Breite Einsatzbereiche neben Steckverbindung

## 5. Prozess und Grundlage

### 5.1 Steckverbindung der Aluminiumprofile in der Praxis

Hier ist ein Beispiel für Winkelverbindung durch KUKA LBR iiwa in der Praxis.

LBR iiwa ermöglicht die automatisierte Steckverbindung von Aluminiumprofilen. Nur zwei LBR iiwa können Aluminiumprofile auf der Werkbank montieren. Die Endeffektor beide Roboter sind parallele Greifer zum Greifen von Aluminiumprofilen und Befestigungselementen.

Im gesamten Arbeitsbereich befinden sich hauptsächlich folgende Einrichtungen und Objekte:

1. Zwei Roboter LBR iiwa mit Parallelgreifer im Abstand von ca. einem Meter
2. Zwei Bereiche zur Aufbewahrung von Aluminiumprofilen unterschiedlicher Größe
3. Zwei Bereiche zur Aufbewahrung von Verbindungselementen
4. Kamera
5. Antirutschmatte
6. Elektrischer Schraubendreher
7. Computer und Operator

Der gesamte Montageprozess läuft:

5. Man konstruiert das Produkt direkt mit dem Tabletcomputer. (Abb. 17)
6. Der Roboter mit Parallelgreifer nimmt ein zu verbindendes Profil aus dem Lager und befestigt es. (Abb. 18)

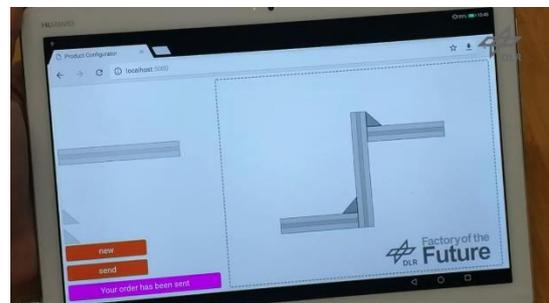


Abbildung 17: Konstruktion[12]

7. Der andere Roboter steckt den Nutenstein in die Nute des Profils und bewegt ihn zu bestimmter Position, und dann platziert das Profil auf die Werkbank. (Abb. 19)
8. Der Roboter nimmt ein anderes Profil aus dem Lager und setzt den Nutenstein wie im vorherigen Schritt ein.
9. Der Roboter schließt die Stellen, an denen zwei Profile verbunden werden müssen, und fixiert sie auf der Werkbank.
10. Der Roboter setzen den Winkelsatz an die Ecke der beiden Profile und befestigt die Schrauben. (Abb. 20)
11. Der Roboter befolgt die gleichen Schritte, um noch ein anderes Profil mit dem verbundenen Teil zu installieren.
12. Der ganze Teil ist verbunden. (Abb. 21)

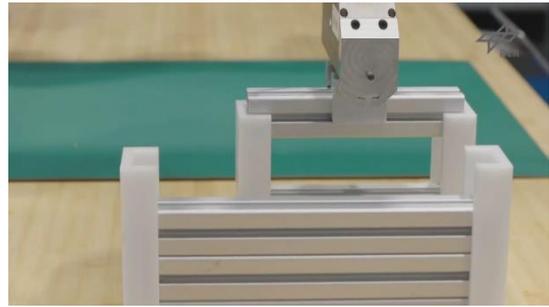


Abbildung 18: Greifen[12]



Abbildung 19: Stecken von Nutenstein[12]



Abbildung 20: Befestigung des Winkelsatzes[12]



Abbildung 21: Fertigteil[12]

Die o.g. Bilder stammen aus einem Screenshot eines Videos

Man muss die Roboter programmieren, um die Aufgaben korrekt ausführen zu können.

Im Programm sollen die Roboter die Reihenfolge des Verbindens der Profile lernen.

Bei der oben genannten Winkelverbindung setzen die Roboter nun Nutensteine in die Nute der beiden Profile und verbindet dann den Winkelsatz. Außerdem muss der Roboter die Werkstücke und Verbindungselemente korrekt lokalisieren, erkennen und greifen. Sie müssen zuerst den Aufbewahrungsort des erforderlichen Werkstücks lokalisieren und dann mithilfe der Bildverarbeitung feststellen, ob es sich um das richtige Werkstück handelt, und es dann mit dem Greifer greifen. Dann befolgt die Roboter die vorherigen Schritte, um das gesamte Produkt oder Halbzeug Schritt für Schritt zusammenzubauen.

## 5.2 Objekterkennung

Um Objekte zu identifizieren und zu lokalisieren, verwendet der Roboter Objekterkennung. Dadurch wird eine 3D-Kamera über der Werkbank gesetzt. (Abb. 22) Mit der hochwertigen Kamera im IP 67-Gehäuse ermöglicht die Objekterkennung einen flexiblen Einsatz des Roboters selbst in unstrukturierten Umgebungen.

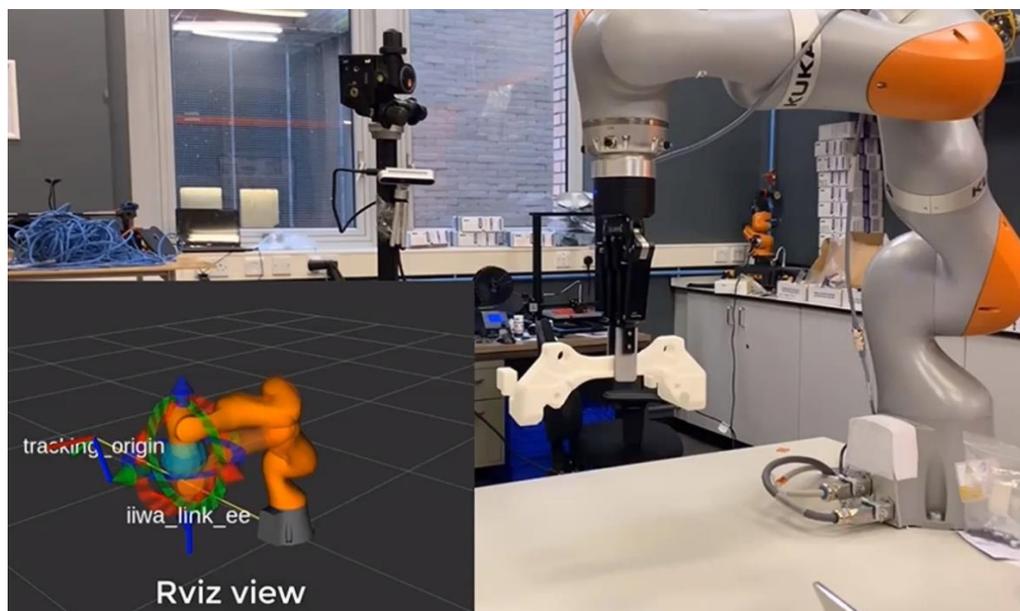


Abbildung 22: 3D Kamera und LBR iiwa [13]

Der prinzipielle Regelkreis eines positionsbasierten Look-and-Move-Ansatzes ist in Bild 23 gezeigt. Deutlich zu erkennen ist die Kaskadenstruktur: Die innere (schnelle) Kaskade bildet einen (Mehrachsen)Gelenkregler, die äußere (langsame) Kaskade basiert

auf den visuell erfassten Merkmalen des Zielobjektes. Das grundsätzliche Vorgehen stellt sich wie folgt dar:[14]

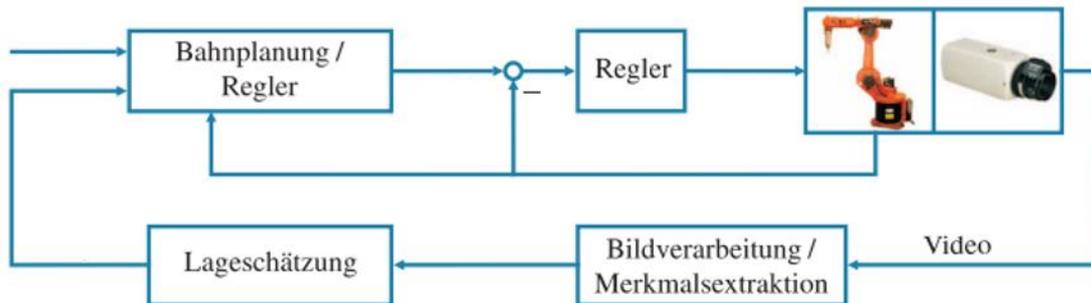


Abbildung 23: Beispiel einer Hand-Auge-Konfiguration[14]

Man verwendet die Kamera und die Videoaufnahmekarte, um das Video in den Computer einzugeben und schnell zu verarbeiten. Man wählt zunächst ein Teilbild des verfolgten Objekts aus. Dieser Schritt entspricht dem Lernen, um ein Koordinatensystem im Bild erzeugen, und indem Objekte zu verfolgen. Nach dem Lernen sammelt die Videoaufnahmekarte kontinuierlich Bilder, extrahiert Verfolgungsfunktionen, führt Datenerkennung und -berechnung durch, ermittelt den angegebenen Wert jeder Gelenkposition des Roboters durch inverse Kinematik und steuert schließlich den hochpräzisen Endeffektor, um die Gelenkwinkel der Armelemente und zu bestimmen.

### 5.3 Greifsystem

Greifer: Es ist dasjenige Subsystem eines Industrieroboters, das eine begrenzte Anzahl von Werkstück bestimmte Geometrie für einen begrenzten Zeitraum in der Position und Orientierung zum Koordinatensystem der mechanische Industrieroboter-Schnittstellen sichert.[15]

Greifsystem beschreibt die Arbeitsorgane eines Roboters. Dazu zählen Aktoren/Effektoren, aber auch erforderliche Hilfseinrichtungen, wie Handgelenkachsen, Wechselsysteme, Fügehilfen, Schutzeinrichtungen und Sensoreinheiten.

Zum Erfassen und Halten von Aluminiumprofilen verwenden der Roboter einen Parallelgreifer. (Abb. 24)

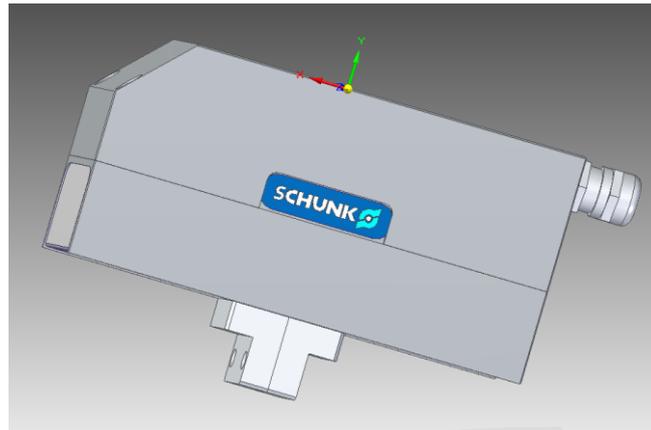


Abbildung 24: Parallelgreifer von Schunk[16]

Um Profile und Nutensteine greifen zu können, sind an diesem parallelen Greifer zwei spezielle Finger und Magnetvorrichtungen installiert. Der Greifer verwendet hauptsächlich eine Formverbindung, hat aber auch die Hilfe einer Kraftverbindung. Falls nur Formschluss verwendet wird, rutschen die Profile mit glatten Oberflächen leicht von beiden Seiten des Greifers heraus. Falls nur Kraftschluss verwendet wird, verursacht leicht die Beschädigungen auf die Oberfläche der Profile. Die Greifzange können in der Nute der Profile einrasten, und gleichzeitig kleine Kraft setzen, um eine ausreichende Reibung bereitzustellen, so dass die Profile fest erfasst werden können. Das Material des Nutensteins ist Stahl oder Zinklegierung. Wenn der Montageprozess mit integrierter roboter-gestützten Manipulation läuft, werden Stahlnutensteine ausgewählt. Der Roboter verwendet Magnetkraft, um sie zu ergreifen und zu bewegen.

Der Medien-Flansch des Roboters steuert den gesamten Greifer durch pneumatische und elektrische Mittel.

## 6. Ausrüstung und automatisierte Produktionslinie für Profilstahlverbindung

Neben der automatischen Steckverbindung von Aluminiumprofilen gibt es auch die automatische Verbindung von Stahl. Steckverbindungen werden in Stahl jedoch selten verwendet und nehmen häufig nur einen Schritt im gesamten Verbindungsprozess ein, und die meisten Verbindungen sind noch Schweißen.

Deshalb werden nur kurz die für die Stahlverbindung erforderlichen Geräte und Produktionslinien dargestellt. Die folgenden dargestellten Lösungen sind von KRANENDONK GmbH.

### 6.1 Träger-Montagelinie

Die Träger-Montagelinie automatisiert die Montage und das Schweißen von Baustahlträgern. Dies spart viel Zeit bei der manuellen Vorbereitung und beim Schweißen und verbessert Ihren Produktionsfluss erheblich. (Abb. 25)[17]



Abbildung 25: Träger-Montagelinie[17]

Die gesamte Montagelinie besteht hauptsächlich aus einige Montagerobotern, Palettierrobotern, Werkbänken, Förderbändern, Lagerregalen und Kontrollzentren.

Montageroboter verwenden im Allgemeinen Schweißen zum Verbinden von Profilen und gelegentlich Schrauben zum Verbinden.

## 6.2 "All-in-One"-Trägerbearbeitung

Eine Maschine zum Schneiden, Bohren, Markieren, Coping und Schleifen (Abb. 26)

Als Baustahlhersteller verwendet man verschiedene Maschinen, um Träger zu bearbeiten. Indem man die Flexibilität von Robotern verwendet, kann die Trägerbearbeitungslinie alle Vorgänge zur Trägerbearbeitung in einer Zelle durchführen. Dadurch spart man Ausrüstungskosten und Stellfläche, die Fertigung wird viel flexibler und passt sich an veränderte Bedürfnisse die Kunden an.[18]

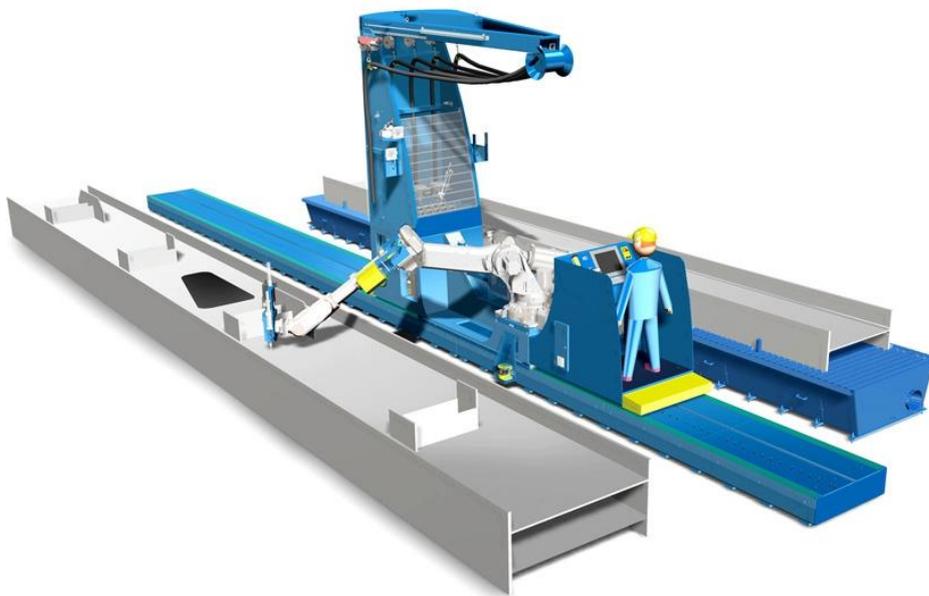


Abbildung 26: "All-in-One"-Trägerbearbeitung[18]

Das Fließband besteht aus hauptsächlich eine Bearbeitungszelle und Rollenbahn. In der Bearbeitungszelle gibt es einen großen Industrieroboter, der verschiedene Aufgaben wie Schneiden, Schweißen, Steckverbindungen usw. ausführen kann.

### 6.3 Multi-process robot on track

Der Multi-Prozess-Roboter auf einer Schiene bietet unübertroffene Flexibilität für die Bearbeitung von Stahlteilen. (Abb. 27) Der Roboter verwendet bis zu fünf verschiedenen Werkzeugen zum Bohren, Gewindeschneiden, Schneiden, Schweißen und Markieren an allen Stahlteilen. Die Schiene ist eine vollständig koordinierte Roboterachse, die dem System einen großen Arbeitsbereich zur Verfügung stellt.[19]



*Abbildung 27: Multi-process robot on track[19]*

Die Schiene ist eine koordinierte Roboterachse, die dem Roboter die Möglichkeit gibt, effektiv einen großen Arbeitsbereich von  $>100 \text{ m}^2$  zu nutzen. Der Roboter lässt sich mit einer intelligenten Software und einem großen Touchscreen einfach steuern. Ein Bediener kann mit roboterartiger Qualität und Präzision hohe Produktivität erzielen.

## 7. Grundkomponenten und technische Einrichtungen von Montagezentrum

Das Montagesystem besteht aus sechs Teilsystemen, darunter Industrieroboter, FTF-Roboter, Paletten- und Montagelinien, Bildverarbeitungssysteme und Palettenlager. Die industrielle Ethernet-Kommunikation wird zwischen der Hauptsteuerung, der Stereoskopische Lager, dem Roboter, der Kamera und dem Programmiercomputer verwendet.

Die Systemnetzwerktopologie ist in Abbildung 28 dargestellt.



Abbildung 28: Systemnetzwerktopologie

Der Prozess der gesamten Montageaufgabe besteht darin, dass der Palettierer die Werkstücke aus dem Stereoskopische Lager nimmt und sie auf die FTF-Roboter platziert, der vom FTF-Roboter zur Palettenmontagelinie transportiert wird. Die Werkstücke werden vom Bildverarbeitungssystem positioniert und identifiziert, und von Industrieroboter greift und auf die Montagelinie platziert. Schließlich schließt der Roboter die Montage ab und zieht in das Lager des fertigen Produkts. (Abb. 29)

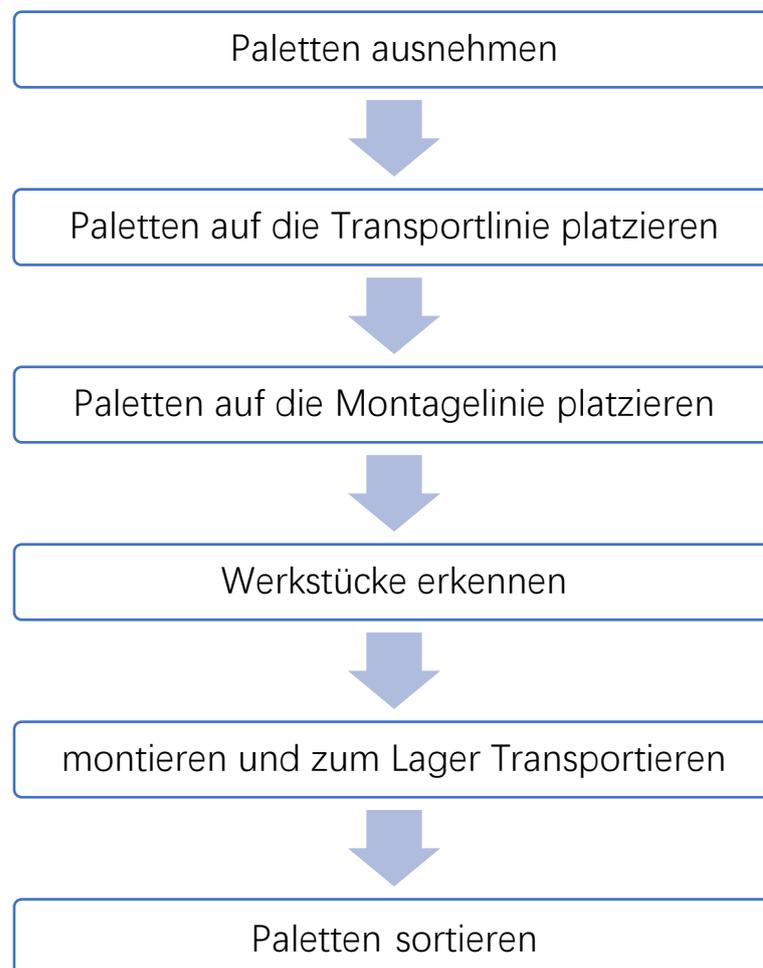


Abbildung 29: Programmablauf

## 7.1 Transportsystem

### Grundlage

Die Gesamtheit des Werkstücktransportes ist in Flexiblen Fertigungssystemen

durch ein integriertes Transportsystem vorzunehmen, das sowohl eine technische als auch eine informationsorientierte Schnittstelle zum innerbetrieblichen Gesamtprozess sowie zur jeweiligen Leiteinheit des FFS besitzt. Da die werkstückseitige Verkettung der Bearbeitungsstationen das wesentliche Kennzeichen eines FFS darstellt, kommen dem Transportsystem die Aufgaben:

- Erkennen
- Handhaben
- Transportieren

#### Transport der Ausgangsteile und Fertigteile

Um den Transport von Ausgang- und Fertigteilen und Bauelementen in der Werkstatt zu bewältigen, werden TFT-Roboter eingesetzt.

Ein Fahrerloses Transportfahrzeug (FTF, englisch Automated Guided Vehicle, AGV) ist ein flurgebundenes Fördermittel mit eigenem Fahrantrieb, das automatisch gesteuert und berührungslos geführt wird. Fahrerlose Transportfahrzeuge dienen dem Materialtransport, und zwar zum Ziehen oder Tragen von Fördergut mit aktiven oder passiven Lastaufnahmemitteln.

Fahrerlose Transportsysteme (FTS) sind innerbetriebliche, flurgebundene Fördersysteme mit automatisch gesteuerten Fahrzeugen, deren primäre Aufgabe der Materialtransport, nicht aber der Personentransport ist.

Für Aluminiumprofile mit kleinerem Volumen und geringerer Masse wird dieser FTF verwendet, der Paletten lang aufnehmen und transportieren kann. Im Allgemeinen beträgt die Tragfähigkeit solche FTF ein bis zwei Tonnen, was für den Transport von Aluminiumprofilen geeignet ist. (Abb. 30)



*Abbildung 30: Fahrerlose Transportfahrzeuge von ESCAD GROUP[21]*

Mit diesem Roboter können Ausgangsteile einfach vom Lager in die Fertigungslinie oder Fertigteile in das Lager transportiert werden.

Man verwendet mobilen Roboter KMR iwa die Verbindungselemente und Werkzeuge zu transportieren. Auf dem arbeitet LBR iiwa als mobiler Produktionsassistent für Logistikaufgaben. Der Roboter kann automatisch die erforderlichen Materialien wie Befestigungselemente, Werkzeuge, Werkstücke usw. erkennen. Und er kann die Sichtlagerkasten mit diesen Gegenständen aus dem Regal nehmen oder Die auf das Regal Stellen. (Abb. 31)



Abbildung 31: mobilen Roboter KMR iiwa[20]

Man verwendet für den Transport von Stahl in der Regel Rollenbahn oder Schwerlast-Schienentransportwagen. Im Vergleich zu Schienentransportwagen sind Rollenbahn wirtschaftlicher, leichter und einfacher zu installieren, so dass sie beim Transport von Stahl auf Fertigungslinien weit verbreitet sind. (Abb. 32)



Abbildung 32: Schwere Rollenbahn von HARO[22]

Wenn unterschiedlichste Güter bewegt werden müssen, sind Anforderungen an ein stabiles und zuverlässiges System gestellt. Diese Rollenbahnen stellen die Schwergewichte mit Antrieb in unserem Stetigförderer-Portfolio dar. Jede Anlage wird

speziell auf den Kundenwunsch angepasst und nach Maß gefertigt. Das Tragprofil, die Füße als auch die Tragrollen werden aus dickwandigen Stahlprofilen gefertigt, wodurch eine enorme Stabilität und Langlebigkeit gewährleistet ist. Die Tragkraft bei diesem Rollenbahn – System liegt bei mehreren Tonnen pro Meter.

## 7.2 Steuerung

Eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS, englisch: programmable logic controller, PLC) ist ein Gerät, das zur Steuerung oder Regelung einer Maschine oder Anlage eingesetzt und auf digitaler Basis programmiert wird. Sie löst die „festverdrahtete“ verbindungsprogrammierte Steuerung in den meisten Bereichen ab. (Abb. 33)[23]

Wenn die speicherprogrammierbare Steuerung in Betrieb genommen wird, ist ihr Arbeitsprozess im Allgemeinen in drei Stufen unterteilt, nämlich Eingangsabtastung, Benutzerprogrammausführung und Ausgangsaktualisierung. Das Abschließen der obigen drei Stufen wird als Scan-Zyklus bezeichnet. Während der gesamten Betriebsdauer führt die CPU der speicherprogrammierbaren Steuerung die obigen drei Stufen wiederholt mit einer bestimmten Abtastgeschwindigkeit aus.

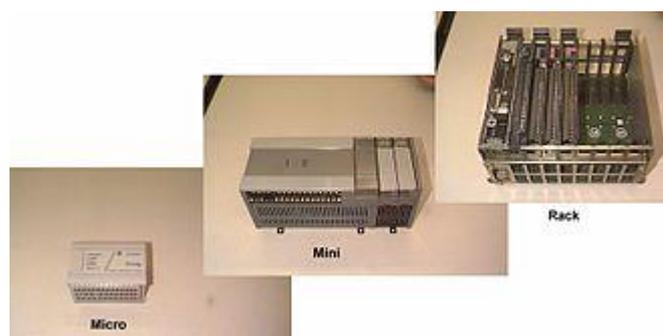


Abbildung 33: Speicherprogrammierbare Steuerung[23]

### 7.3 Handhabung

Bei der Montage von Aluminiumprofilen ist die Handhabung ein Computer/Tabletcomputer oder Hände von Operator. Diese kollaborativen Roboter verfügen über eine extrem hohe Intelligenz und ausgereifte Software. Die Mitarbeiter können sie problemlos über einen Computer bedienen. Es ist sogar erforderlich, dass ein Techniker den Roboter von Hand an die gewünschte Position bringt, und der Roboter kann die Aufgabe lernen und ausführen.

Um diese großen stahlproduzierenden Roboter zu steuern, verwendet man Handbediengerät häufig drahtlose Fernsteuerungen. Einige Handbediengeräte können verschiedene Arten von Robotern steuern, z. B. Das KUKA smartPAD (Abb. 34) mit dem alle Roboter von Kuka gesteuert werden können.[24]



Abbildung 34: KUKA smartPAD[24]

Dieses Gerät verfügt über ein erweitertes Design und umfassende Funktionen. Beidhändig nutzbare Halteschlaufen und Haltegriffe erleichtern die Bedienung um ein Vielfaches. Optional ermöglicht ein Schultergurt ein ermüdungsfreies Arbeiten - vor allem während zeitintensiver Projekte. Die 6D-Maus bietet ein intuitives Verfahren sowie Umorientieren des Roboters in drei oder sechs Freiheitsgraden. Integrierte

Protektoren bieten bei einem Sturz maximal möglichen Schutz. Das kratzfeste Display sowie die Schutzklasse IP 54 erlauben den Einsatz im rauen industriellen Umfeld.

#### 7.4 Ver- und Entsorgung der Roboter

Da kollaborative Roboter häufig mit Technikern zusammenarbeiten und ihre Arbeitsumgebung relativ gut ist, wird der Roboter weniger Schaden und Umweltverschmutzung erleiden. Dies ist auch der Vorteil der Entwicklung von Industrie 4.0 und Smart Fabriken.

Wenn der Roboter die Steckverbindung von Aluminiumprofilen durchführt, entstehen nur sehr wenig Abfall und Schmutz. Nach jeder Arbeit muss man nur die Oberfläche abwischen und abkühlen lassen. Um die gute Leistung des Roboters sicherzustellen, müssen die Mitarbeiter den inneren Staub reinigen und den Zustand der Teile regelmäßig überprüfen. Bei KUKA-Robotern kann das Unternehmen nach Beschädigung der Ausrüstung den Austausch und die Reparatur von Teilen nur innerhalb von vierundzwanzig Stunden abschließen.

Bei großen Robotern zur Herstellung von Stahl sind Reinigung, Wartung und Kühlung wichtiger. Die Hauptreinigungs- und Wartungsobjekte sind der Roboterkörper und die Werkzeuge. Weil große Roboter lange Zeit schwierige Aufgaben wie Schweißen, Schneiden und Handhaben von schwerem Stahl ausführen. Der Roboter muss regelmäßig gewartet werden. Die Wartungshäufigkeit wichtiger Teile muss streng plant und umgesetzt werden, z.B. Wellenbremstest, Getriebeschmierung, Hohlgelenkschmierung, Austausch der Servo-Lüftereinheit, Überprüfung des Kühlers usw.

## 8. Erstellung eines Konzeptes für das Montagezentrum zur Steckverbindungen von Konstruktionsprofil

Das gesamte Montagezentrum besteht hauptsächlich aus Lagersystem, Transportsystem, Montagesystem und Steuerungssystem.

Im Lager werden die zu verbindenden Konstruktionsprofile auf Paletten und vielfertige Verbindungselemente und Werkzeuge in Sichtlagerkasten auf dem Regal platziert.

Das Fahrerloses Transportfahrzeug aus ESCAD GROUP ermittelt anhand der Objekterkennung die Ausgangsteile und die benötigten Materialien und transportiert sie zur Montagewerkbank. AGV 14 wird zum Transport von Aluminiumprofilen verwendet, und seine Paletten-Aufnahme sind für europäische Paletten geeignet, und seine Traglast von 1,4 Tonnen kann für den Transport von Aluminiumprofilen voll qualifiziert werden. Mobilen Roboter KMR transportiert die Sichtlagerkasten mit diesen Gegenständen aus dem Regal zu den Montagebereich.

Der Montagebereich besteht aus einer Werkbank, zwei KUKA LBR iiwa, einem Bildverarbeitungssystem, einem Steuergerät und Technikern. LBR iiwa nehmen die erforderlichen Profile und Verbindungselemente von der Palette und dem Materialkasten und führt dann Montagearbeiten durch. Nach Abschluss der Montage werden die Fertigteile zum Stapeln auf die Platte gelegt. Dann transportiert AGV 14 sie zum Lager. Techniker verwenden Computer, um Aufgaben zu arrangieren und Roboter zu steuern.

Die gesamte Montagefläche besitzt einen kleinen Raum von etwa zehn Quadratmetern. Der Vorteil dieses Montagesystems besteht darin, dass es Raum spart, flexibel und leicht ist und wenig Energie verbraucht. Es kann leicht in einem Bereich der Werkstatt platziert werden. Da keine Schweiß- oder Schneidprozesse

erforderlich benötigt, sind Abfall, Umweltverschmutzung und Lärm geringer als bei anderen Fertigungslinien. Aufgrund der Intelligenz und Flexibilität des Roboters LBR iiwa ist es einfach, neue Aufgaben einzurichten, dadurch man viel Zeit sparen kann.

## Literaturverzeichnis

- [1] Arbeitsblätter zur Lehrveranstaltung: Fertigungssystem; Prof. Dr.-Ing. R. Kademann; 2011
- [2] Grundwissen des Ingenieurs; Prof. Dr. rer. nat. Dr. rer. pol. Ekbert Hering; 2007
- [3] <http://www.daswirtschaftslexikon.com/d/montage/montage.htm>; 2016
- [4] <https://glossar.item24.com/glossarindex/artikel/item/verbindungselemente.html>; item; 2021
- [5] <https://de.wikipedia.org/wiki/Konstruktionsprofil>; Wikipedia; Dez. 2020
- [6] <https://www.item24.de/nc/kundenloesungen/anwendungen/detail/product/transportwagen-fuer-europaletten.html>; item; 2021
- [7] <https://www.item24.de/nc/kundenloesungen/anwendungen/detail/product/umlaufende-montagebuehne-mit-zwei-ebenen.html>; item; 2021
- [8] <https://www.item24.de/nc/kundenloesungen/anwendungen/detail/product/schwerlast-werkstuecktraeger.html>; item; 2021
- [9] <https://www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/robotersysteme/industrieroboter/lbr-iiwa>; KUKA; 2021
- [10] <https://www.yuanda-robotics.de/roboter/>; YUANDA; 2021
- [11] <https://www.fanuc.eu/de/de/roboter/roboterfilter-seite/kollaborierende-roboter/collaborative-cr-14ial>; Fanuc; 2021
- [12] <https://www.jqzns.com/solution/detail/837>; jizhiwang; 2021
- [13] <https://www.bilibili.com/video/BV1xA411W7nE?from=search&seid=8651019743448031627>; 2021

- [14] Skript zur Vorlesung Robotik II; Prof. Dr. Ing. T. Ortmaier, E. Knöchelmann, M.Sc; 2016
- [15] <https://de.wikipedia.org/wiki/Greifsystem>; Wikipedia; Jan. 2020
- [16] [https://schunk.com/cn\\_zh/zhua-qu-xi-tong/series/gsw-b/](https://schunk.com/cn_zh/zhua-qu-xi-tong/series/gsw-b/); Schunk; 2021
- [17] <https://www.kranendonk.com/de/trager-montagelinie>; KРАНENDONK; 2021
- [18] <https://www.kranendonk.com/de/all-one-tragerbearbeitung>; KРАНENDONK
- [19] <https://www.kranendonk.com/de/all-one-tragerbearbeitung>; KРАНENDONK
- [20] <https://www.kuka.com/de-de/presse/news/2015/12/lbr-iiwa-als-mobiler-produktionsassistent-f%C3%BCr-logistikaufgaben>; KUKA; 2021
- [21] <https://www.escad-group.com/de/robotik/transportroboter/global-agv/agv-l14/>; ESCAD Group; 2021
- [22] <https://www.haro-gruppe.de/komponenten/schwere-rollenbahnen/15>; Haro Gruppe; 2021
- [23] [https://de.wikipedia.org/wiki/Speicherprogrammierbare\\_Steuerung](https://de.wikipedia.org/wiki/Speicherprogrammierbare_Steuerung); Wikipedia; Dez. 2020
- [24] <https://www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/robotersysteme/robotersteuerungen/smartpad>; KUKA; 2021

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema einer flexiblen Montageanlage mit entsprechender Handhabungs- und Montagetechnik .....	3
Abbildung 2: Hierarchie der Montagesysteme .....	4

Abbildung 3: Kinematische Alternativen von Organisationsformen der Montage nach Eversheim (Eversheim, W. 1987).....	6
Abbildung 4: Gliederung nach funktionaler und fachlicher Integration nach Seitz (Seitz, D. 1992).....	7
Abbildung 5: Stellung der Montage im Produktionsprozess.....	8
Abbildung 6: Vorgehen in der Montageplanung.....	10
Abbildung 7: Regelkreismodell der Montagesteuerung.....	14
Abbildung 8: Aluminiumprodukt: Transportwagen.....	21
Abbildung 9: Umlaufende Montagebühne mit zwei Ebenen.....	23
Abbildung 10: Schwerlast-Werkstückträger.....	24
Abbildung 11: LBR iiwa.....	26
Abbildung 12: Yuanda Roboter.....	28
Abbildung 13: CR-14iA/L.....	30
Abbildung 14: KUKA LBR iiwa.....	32
Abbildung 15: Yuanda Roboter.....	33
Abbildung 16: CR-14iA/L.....	34
Abbildung 17: Konstruktion.....	37
Abbildung 18: Greifen.....	38
Abbildung 19: Stecken von Nutenstein.....	38
Abbildung 20: Befestigung des Winkelsatzes.....	38
Abbildung 21: Fertigteil.....	38
Abbildung 22: 3D Kamera und LBR iiwa.....	39

Abbildung 23: Beispiel einer Hand-Auge-Konfiguration .....	40
Abbildung 24: Parallelgreifer von Schunk.....	41
Abbildung 25: Träger-Montagelinie.....	42
Abbildung 26: "All-in-One"-Trägerbearbeitung.....	43
Abbildung 27: Multi-process robot on track .....	44
Abbildung 28: Systemnetzwerkdiagramm.....	45
Abbildung 29: Programmablauf.....	46
Abbildung 30: Fahrerlose Transportfahrzeuge von ESCAD GROUP.....	48
Abbildung 31: mobilen Roboter KMR iiwa .....	49
Abbildung 32: Schwere Rollenbahn von HARO .....	49
Abbildung 33: Speicherprogrammierbare Steuerung.....	50
Abbildung 34: KUKA smartPAD.....	51

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kennwerte der Montage für Produkte aus dem Bereich Maschinenbau nach Eversheim (Eversheim, W. 1992) und VDMA (VDMA, 1993) .....	9
Tabelle 2: Verbindungsvarianten für Aluminiumprofile.....	19
Tabelle 3: Drei Modelle und Daten im Überblick.....	27
Tabelle 4: Technische Daten.....	27
Tabelle 5: Technische Daten von Yuanda Roboter .....	29
Tabelle 6: CR-14iA/L.....	31
Tabelle 7: Die zu bewertenden Fähigkeit und ihre höchste Punktzahl.....	35
Tabelle 8: Ergebnis der Bewertungskriterien.....	36



## Selbständigkeitserklärung zur Bachelorarbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und nur die angegebene Literatur und Hilfsmittel benutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Merseburg, den 20.01.2021

Ziang Tang