

Degree Course

**BACHELOR IN INDUSTRIE- UND
MASCHINENINGENIEURWESEN
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA
INDUSTRIALE MECCANICA
BACHELOR IN INDUSTRIAL
AND MECHANICAL ENGINEERING**

**„Planung und Auslegung eines Werkstückträger-
Transfersystems im Smart Mini Factory Labor mit
Fokus auf eine flexible Automation“**

von / di / by

Tizian Santa

Vor- und Nachname / Nome e Cognome / Name and Surname

Berichterstatter / Relatore / Supervisor

Erwin Rauch

Vor- und Nachname / Nome e Cognome / Name and Surname

Zweitbetreuer / Correlatore / Second Supervisor

/

Vor- und Nachname / Nome e Cognome / Name and Surname

Akademisches Jahr / Anno Accademico / Academic Year

2018/2019

Prüfungsdatum / Data dell'esame / Exam Date

18/12/2018



Dichiarazione - Erklärung

Il sottoscritto,

Hiermit erkläre ich,

Tizian Santa

(Nome e Cognome / Vor- und Zuname)

nato il **22.06.1991**

geboren am

a

in

Bozen

dichiara di aver redatto l'elaborato finale in piena autonomia senza avvalersi
die vorliegende Abschlussarbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe (mit

della collaborazione di terzi (ad esclusione del relatore). Testi, Informazioni e
Ausnahme des Berichterstatters) angefertigt zu haben. Texte, Informationen

dati, che provengono da fonti esterne sono state debitamente evidenziate
und Daten, die fremden Quellen entstammen, sind als solche durch Zitat

con gli opportuni riferimenti bibliografici.
kenntlich gemacht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung	1
1.2	Motivation	2
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	Stand der Technik und der Forschung	5
2.1	Industrie 4.0 als Zukunftstreiber von Produktionsbetrieben	5
2.1.1	Entstehung der Begriffe Industrie 4.0 und vierte industrielle Revolution	5
2.1.2	Überblick über Industrie 4.0	7
2.2	Learning Factories als Konzept für Engineering Education 4.0	10
2.2.1	Grundkonzept einer Lernfabrik für Industrie 4.0	11
2.2.2	Das Smart Mini Factory Labor der Freien Universität Bozen	13
2.3	Flexible Verkettung automatisierter und hybrider Fertigungssysteme	15
2.3.1	Grundlagen der flexiblen Verkettung	15
2.3.2	Manuelle, automatisierte und hybride Fertigungssysteme	17
2.3.3	Übersicht von Systemen zur flexiblen Verkettung	22
3	Analyse Ist-Situation und Erstellung Lastenheft	24
3.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	24
3.1.1	Aktuelles Layout	24
3.1.2	Zu integrierende Geräte und Maschinen	27
3.1.3	Zusammenfassung Ziel	33
3.2	Anforderungsermittlung	33
3.3	Identifikation von Anbietern und technischen Lösungen auf dem Markt	40
4	Technische Auslegung und Planung der favorisierten Varianten	45
4.1	Technische Auslegung mittels Werkstückträger-Transfersystem TS2 von Bosch	45
4.1.1	Übersicht TS2 von Bosch	45
4.1.2	3D Modellierung und technische Auslegung des TS2 Systems für das Smart Mini Factory Labor	50
4.1.3	Integrationskonzept der Maschinen, Roboter und Arbeitsplätze	53
4.2	Technische Auslegung mittels Shuttle-Transfersystem von Montratec	57
4.2.1	Übersicht montratec von Montratec	57

4.2.2	3D Modellierung und technische Auslegung des montrac Systems für das Smart Mini Factory Labor	60
4.2.3	Integrationskonzept der Maschinen, Roboter und Arbeitsplätze	63
4.3	Fazit und Empfehlung	67
5	Kostenübersicht der analysierten Transfersysteme.....	69
6	Gesamtfazit.....	71
7	Zusammenfassung.....	72
7.1	Deutsche Fassung	72
7.2	Versione italiana	73
7.3	English version	74
8	Begriffe, Definitionen und Abkürzungen.....	76
9	Literaturverzeichnis.....	77
10	Abbildungsverzeichnis.....	82
11	Anhang.....	84

1 Einleitung

Diese Abschlussarbeit befasst sich mit dem Thema Industrie 4.0 sowie mit deren Umsetzung in Lernfabriklaboren. Dabei spielt vor allem eine flexible Verkettung von automatisierten, manuellen und hybriden Arbeitsstationen eine große Rolle. Um eine solche Verkettung zu realisieren, braucht es dementsprechende Transportsysteme. Ausgehend von den gesammelten Kenntnissen und Anforderungen des Smart Mini Factory Labors, ist ein Bestandteil dieser Thesis die Planung und die technische Auslegung eines Transfersystems. Ziel ist dabei die flexible Verkettung unterschiedlicher Montagestationen. Dabei werden auch Angebote für Kosten angefordert und am Ende ein dementsprechendes Gesamtfazit gegeben.

1.1 Einführung

Mit Industrie 4.0 ist der nächste Schritt in der industriellen Produktion gemeint. Dabei spricht man oft von der vierten industriellen Revolution. Demzufolge sind drei industrielle Revolutionen vorausgegangen. Bei der ersten industriellen Revolution spricht man von der Einführung der Dampfmaschine als Antriebs- und Kraftmaschinen in der Produktion. Die zweite industrielle Revolution fand durch die Einführung von arbeitsteiliger Massenproduktion, wie Fließbandproduktion, und durch den Einsatz elektrischer Energie statt. Durch den Einzug von Elektronik und Informationstechnik fand dann die dritte industrielle Revolution statt. In der vierten industriellen Revolution oder Industrie 4.0 soll es möglich werden, dass Mensch, Maschine und Produkte miteinander kommunizieren und interagieren können. Dabei handelt es sich um Cyber-physische Systeme und Produktionssysteme. Verschiedene Technologien sind dafür notwendig, wie Digitalisierung, Big Data, Cloud Computing, Internet der Dinge, Mensch-Maschine Interaktion sowie Sensorik zum Sammeln der Daten.

Zur Umsetzung, beziehungsweise Umrüstung der Produktion wird auch oft von Staaten, durch verschiedene Fördermaßnahmen, den Unternehmen unter die Arme gegriffen. So hat Italien zum Beispiel den „Piano Nazionale Industria 4.0“ verfasst. Dabei versucht der Staat vor allem durch Steuererleichterungen Betriebe zu motivieren, in neue Produktionstechnologien zu investieren.

Um das Thema Industrie 4.0 jedoch nicht nur im Berufsalltag umzusetzen, sondern auch in der Ausbildung zu integrieren, führen verschiedene Bildungs- und Forschungseinrichtungen sowie Unternehmen sogenannte Lernfabriken. Dabei handelt es sich um Labore, in welchen Auszubildende mit der Praxis von industrieller Produktion vertraut werden. Diese Lernfabriklabore weisen meist einen hohen Stand der Technik auf. Studenten und Schüler können somit Produktionslinien planen und praktisch umsetzen. Das Konzept der Lernfabriken soll dabei durch praxisnahes Lernen und realitätsnahes Umfeld die Auszubildenden auf die spätere reale Arbeit in Betrieben vorbereiten. Das Sammeln von praktischer Erfahrung muss dadurch nicht erst in der Berufswelt erfolgen. Durch die Ausstattung der Labore und die frühe praktische Auseinandersetzung mit dem Thema Industrie 4.0, haben Betriebe den Vorteil, bei späterer Einstellung der ausgebildeten Fachleute die Produktion nach Industrie 4.0 umzurüsten.

Durch die steigende Variantenvielfalt und unterschiedlichen Losgrößen, ist es auch wichtig, die Produktion so anpassungsfähig wie möglich zu gestalten. Dabei spielt die

flexible Verkettung der einzelnen Fertigungsstationen eine große Rolle. Jedoch nicht nur die Verbindung der Stationen in der Produktionslinie ist dabei ausschlaggebend, sondern auch die Kombination von automatisierten Stationen mit manuellen oder hybriden Arbeitsplätzen. Durch die Aus- und Einschleusung der Werkstücke von der Hauptproduktionslinie zu hybriden oder rein manuellen Stationen, kann die Produktion sehr anpassungsfähig agieren. Mit zusätzlichem Puffer und dem Zusammenspiel der verschiedenen Stationen ist eine taktunabhängigere Produktion möglich und somit kann diese ziemlich flexibel gehalten werden.

Um eine flexible Verkettung der Stationen umzusetzen, gibt es verschiedenste Anbieter mit unterschiedlichen Transfersystemen am Markt. Meist handelt es sich um modulare Systeme, mit welchen es je nach Bedarf möglich ist, die Produktionslinie ohne Probleme zu erweitern und umzugestalten. Dabei gilt es abhängig von verschiedenen Kriterien wie Technik, Produkt, Preis, Layout, Sicherheit und so weiter das geeignete Transportsystem zu finden.

1.2 Motivation

Diese Abschlussarbeit entstand durch die Notwendigkeit eines Transfersystems im Smart Mini Factory (SMF) Labor. Im Smart Mini Factory Labor der Freien Universität Bozen sind verschiedene Roboter als auch manuelle Arbeitsplätze vorhanden. Diese werden für Lehr- als auch für Forschungszwecke genutzt. Die Schwerpunkte des Labors sind Automation & Robotik, Mechatronik und elektrische Antriebe, Mensch-Maschine Zusammenarbeit, Hybride Montagesysteme, Assistenzsysteme für die Produktion, Virtual/Augmented Reality, I4.0 Lernfabriken und Baumanagement 4.0. Um diese Lern- und Forschungsfelder zu erweitern und auszubauen, soll der Ankauf eines Transfersystems einen wesentlichen Beitrag dazu leisten.

Hauptbestandteil dieser Thesis, für die Umsetzung des Transfersystems im SMF, sind die Planung und technische Auslegung. Dabei wird vor allem auf die Integration aller vorhandenen Roboter und Arbeitsplätze eingegangen. Nachdem das Layout ausgearbeitet war, erfolgte die Planung durch den Einsatz verschiedener CAD-Systeme.

Das Transfersystem sollte nicht nur starr die Stationen verbinden, sondern so ausgelegt werden, dass die Verkettung so flexibel wie möglich ist. Zudem sollte die Verkettung im Sinne eines Industrie 4.0 Labors geplant werden. Im Vordergrund stand dabei die technische Realisierbarkeit, beziehungsweise die beste technische Lösung zu finden, um die Flexibilität sowie das Thema von Industrie 4.0 zu erfüllen.

Ein weiterer Aspekt war die Kostenfrage. Dabei wurden verschiedene Firmen um ein Angebot angefragt. Dadurch war es nicht nur ein Projekt rein technischer Art, sondern eine fächerübergreifende Arbeit. Zudem handelt es sich hierbei nicht nur um ein theoretisches Forschungsprojekt, sondern wird in die Realität umgesetzt und kann somit nachkommenden Studenten bei ihrer Ausbildung helfen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Im Kapitel „Stand der Technik und der Forschung“ wird auf den Begriff Industrie 4.0 eingegangen. Dabei werden die Entstehung des Begriffs und dessen Bedeutung vertieft. Zudem werden die sogenannten Lernfabriken beschrieben. Dabei wird dessen Grundkonzept aufgegriffen sowie sich mit dem Einfluss und der Umsetzung von Industrie 4.0 in den Lernfabriken auseinandergesetzt. Zum Thema Industrie 4.0 zählt auch die flexible Verkettung von automatisierten und manuellen, hybriden Stationen. Dabei werden die Grundlagen aufgezeigt und manuelle, automatisierte und hybride Fertigungssysteme vertieft. Zudem wird eine Übersicht von Systemen zur flexiblen Verkettung gegeben. Auch die Freie Universität Bozen führt eine Lernfabrik mit dem Namen Smart Mini Factory Labor.

Im nächsten Kapitel wird die derzeitige Ausgangssituation im Smart Mini Factory Labor beschrieben und die Zielsetzung definiert. Um die Ausgangssituation zu erfassen, wird auf das aktuelle Layout des Smart Mini Factory Labor eingegangen. Zudem werden die zu integrierenden Geräte, Maschinen und Arbeitsplätze technisch beschrieben. Das Ziel ist die flexible Verkettung dieser Geräte und Maschinen sowie der Arbeitsplätze. Um der Zielsetzung gerecht zu werden, wird ein Lastenheft erstellt. Mit den darin definierten Anforderungen wird eine Marktrecherche durchgeführt. Dabei werden verschiedene Anbieter gesucht und dessen technische Lösungen zur flexiblen Verkettung beschrieben.

Im darauffolgenden Kapitel werden aus diesen Anbietern und ihren Transfersystemen zwei Anbieter mit unterschiedlichen technischen Varianten von Transportsystemen favorisiert. Nach dieser Auswahl erfolgten nun die technische Auslegung und Planung. Um eine Übersicht der beiden Transfersysteme zu haben, werden die unterschiedlichen Systeme beschrieben und technischen Daten erfasst. Die Planung erfolgt mittels 3D CAD Software. Für ein genaues Verständnis des Ablaufes wird ein Integrationskonzept erstellt, welches eine technische Beschreibung enthält, wie die Roboter und Maschinen integriert werden.

Nach der Planung und technischen Auslegung wurden die Anbieter um einen Kostenvoranschlag gebeten und somit folgt das Kapitel „Kostenübersicht“. Darin werden die Kosten der analysierten Transfersysteme aufgelistet und beschrieben.

Im Gesamtfazit befindet sich die Bewertung und Ergebnis der Arbeit.

In den weiteren Kapiteln befindet sich eine kurze Zusammenfassung der Arbeit in den Sprachen Deutsch, Italienisch und Englisch, Begriffserklärungen sowie Abkürzungen, das Literaturverzeichnis der verwendeten wissenschaftlichen Quellen, das Abbildungsverzeichnis der gesammelten Grafiken und Bildern und der Anhang.



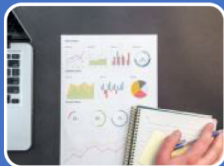
Einleitung

- Einführung
- Motivation
- Aufbau der Arbeit



Stand der Technik und der Forschung

- Industrie 4.0 und die vierte industrielle Revolution
- Lernfabriken und Industrie 4.0 in der Ausbildung
- Flexible Verkettung von Fertigungssystemen



Analyse Ist-Situation und Erstellung Lastenheft

- Erfassung der Ausgangssituation und Definition des Ziels
- Erstellung des Lastenheftes mit den Anforderungen
- Marktrecherche zu möglichen Anbietern und technischen Lösungen



Technische Auslegung und Planung der favorisierten Varianten

- Beschreibung der beiden Transfersysteme
- Technische Auslegung und Modellierung der ausgewählten Transfersysteme
- Konzept für die Integration der Roboter und Arbeitsplätze in das System



Kostenübersicht der analysierten Transfersysteme

- Auflistung der Kostenzusammenstellung der beiden Transfersysteme
- Vergleich der Kosten

FAZIT

Gesamtfazit

- Erstellung Gesamtfazit und Ergebnis der Arbeit

SUMMARY

Zusammenfassung

- Zusammenfassung der Thesis in den Sprachen Deutsch, Italienisch und Englisch



Verschiedenes

- Begriffe, Definitionen und Abkürzungen
- Literaturverzeichnis
- Abbildungsverzeichnis
- Anhang

Abbildung 1: Kapitelübersicht

2 Stand der Technik und der Forschung

In diesem Kapitel wird kurz Aufschluss gegeben über den derzeitigen Stand der Technik in den Bereichen Industrie 4.0, Lernfabriken und Systemen zur flexiblen Verkettung. Industrie 4.0 wird auch die vierte industrielle Revolution bezeichnet und soll dabei den nächsten Schritt in der industriellen Produktion bedeuten. Um Firmen für die Einführung und Umsetzung für Industrie 4.0 zu helfen, werden sie zum Beispiel in Italien vom Staat mit verschiedenen Subventionen unterstützt. Um bereits früh das Konzept von Industrie 4.0 zu unterstützen, führen verschiedenen Institutionen sogenannte Lernfabriken. Dabei haben Auszubildende die Möglichkeit Erfahrungen durch praxisnahes Lernen zu sammeln. In diesen Lernfabriken wird ein erster Schritt in Richtung Optimierung von Produktionsabläufen gemacht und dessen Verkettung. Durch die zunehmende Variantenvielfalt spielt dabei eine flexible Verkettung eine immer größere Rolle.

2.1 Industrie 4.0 als Zukunftstreiber von Produktionsbetrieben

Mit dem Begriff Industrie 4.0 soll die nächste Revolution für Industrieunternehmen eingeläutet werden. Der Begriff dient als Wegweiser für Unternehmer, in welche Richtung sich der Betrieb und vor allem die Produktion entwickeln soll. Typische Begriffe, die oft einhergehen mit Industrie 4.0, sind Digitalisierung, Big Data, Cloud Computing, Internet der Dinge, Mensch-Maschine Interaktion. Unternehmer werden in der Umsetzung auf diesen neuen Standard jedoch nicht allein gelassen und so hat in Italien die Regierung einen Plan erlassen mit dem Namen „Piano Nazionale Industria 4.0“ um Betriebe zu unterstützen.

2.1.1 Entstehung der Begriffe Industrie 4.0 und vierte industrielle Revolution

Die Bezeichnung „4.0“ bezieht sich, wie bei Software-Produkten, auf eine neue Version. Dabei wird die erste Ziffer um eins erhöht und die zweite Ziffer wird auf 0 gesetzt, um eine neue Version einzuläuten (Wikipedia, 2018). Aber um den Begriff besser verstehen zu können, werden die ersten drei Revolutionen kurz analysiert.

Die erste industrielle Revolution fand ihren Start mit der Erfindung der Dampfmaschine um 1750. Durch dessen Einsatz als Antrieb von Arbeitsmaschinen gelang die Industrialisierung. Jedoch nicht nur in der Produktion fand die Dampfmaschine ihren Einsatz, sondern auch im Transport, wie Schifffahrt und Eisenbahn. Durch die Industrialisierung und durch das verbesserte Transportsystem gab es keine strukturell bedingten Hungersnöte mehr und die Bevölkerung wurde mit Kleidern und Nahrung ausreichend versorgt. Zudem steigerte sich die Produktivität beachtlich (Diamond, 2005). Zusammenfassend kann man sagen, dass in der ersten industriellen Revolution eine Mechanisierung von Handarbeit durch Maschinen, Erzeugung der mechanischen Energie durch die Dampfmaschine und Nutzung mineralischer Rohstoffe wie Kohle und Eisen stattfand (Landes, 1999). Durch diese Entwicklung zogen immer mehr Menschen vom Land

in die Stadt um in den Fabriken zu Arbeiten. Einige wenige, die Fabriksbesitzer, kamen zu einem großen Wohlstand, jedoch die große Menge der Leute, die Fabriksarbeiter, wurden ausgebeutet und es entstand eine Massenarmut (Sachwörterbuch, 1969).

Dadurch fand beim Übergang in die zweite industrielle Revolution um 1870 gleichzeitig eine bürgerliche Revolution statt. In der zweiten industriellen Revolution fanden die arbeitsteilige Massenproduktion und die elektrische Energie Einzug in den Fabriken. Aber auch elektrische Antriebe und Verbrennungsmotoren wurden weiterentwickelt und konnten so die zentralen Antriebsmaschinen ersetzen, wodurch eine Dezentralisierung möglich war (Hahn, 2005). Die industrielle Massenproduktion wurde vor allem in den Bereichen Chemie-, Elektro-, Automobilindustrie und Maschinenbau eingeführt. Die Massenproduktion kam zu Gute, um den sozialen Spannungen, durch die Ausbeutung der Fabriksarbeiter, entgegenzuwirken. Grund dafür war die Herstellung kostengünstiger Produkte durch die großen Produktionsmengen, zudem wurden die ersten Gewerkschaften gegründet, um die Arbeiterschaft zu schützen. Dies war der Grundstein für unsere heute konsumorientierte Wohlstandsgesellschaft.

In den 1960er Jahren wurde die dritte industrielle Revolution eingeläutet. In dieser Revolution fand der Einsatz von Elektronik und Später der Informations- und Kommunikationstechnologie in der Produktion statt, um Produktionsprozesse und Schritte zu automatisieren. Dadurch war eine Serienproduktion mit vielen Varianten möglich. Diese Variantenvielfalt brauchte man, da ein Übergang stattfand von Märkten, wo die Leute alles kauften was produziert wurde zu Märkten wo Kundenwünsche individueller und Qualität immer wichtiger wurden (Erber und Hagemann, 2012).

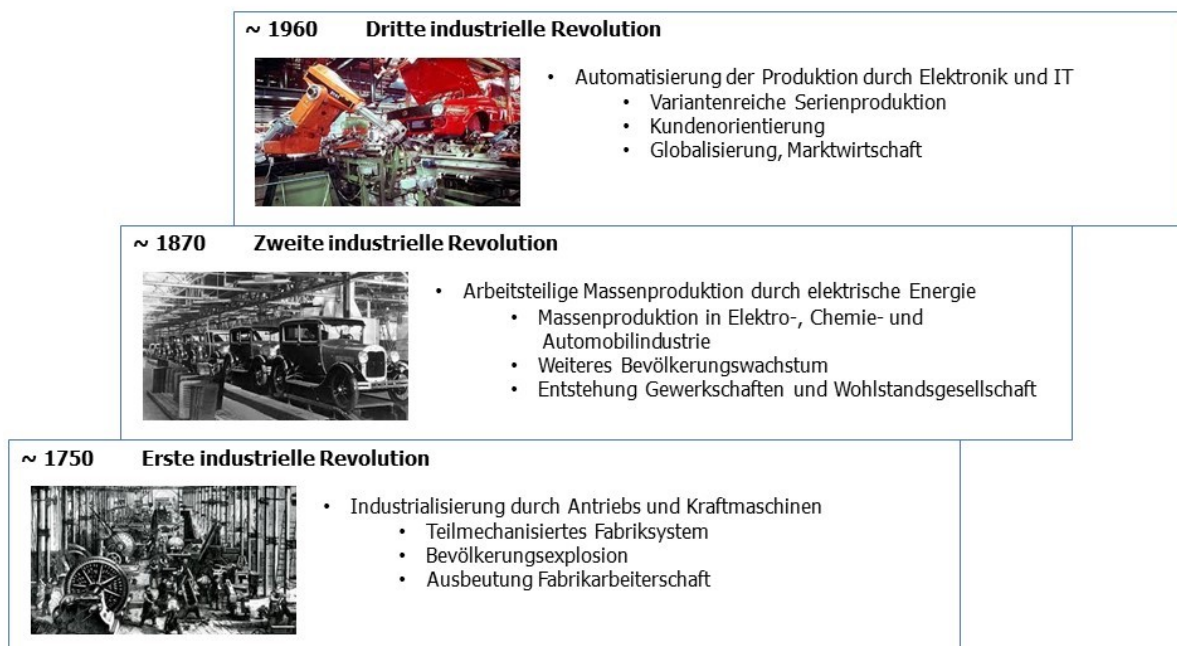


Abbildung 2: Industrielle Revolutionen, Treiber und Veränderungen (in Anlehnung an Bauernhansl et al., 2014)

Durch diese Entwicklung und das Voranschreiten und Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie das Internet, ist der nächste Schritt eine Modernisierung der industriellen Produktion, Industrie 4.0. Auch wenn die ersten drei Revolutionen erst im Nachhinein so benannt wurden, ist mit Industrie 4.0 schon vorab die nächste Revolution als solches ausgerufen worden. Es gibt keine genaue Definition,

aber es ist damit die Vernetzung und Kommunikation durch die moderne Internettechnologie von Menschen, Maschinen, Produkte und ganzer Anlagen in der Produktion zu verstehen. Der Begriff beinhaltet verschieden Megatrends wie Automatisierung, Konnektivität, Mobilität, Globalisierung und Sicherheit (Ingenieur, 2018).

2.1.2 Überblick über Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0 kam das erste Mal in Deutschland im Jahr 2011 zum Vorschein und sollte die produzierenden Industrieunternehmen antreiben ihre Produktion zu Digitalisieren. Zweck ist es eine intelligente Fabrik zu schaffen, welche die immer komplexer und individueller werdenden Produkte, durch Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie realisierbar machen soll. Dabei sollen durch das Internet der Dinge, Mensch, Maschine und Produkt in der Lage sein miteinander zu kommunizieren und zu interagieren. So soll eine Effizienzsteigerung erzielt werden (BMBF, 2013). Der Schritt zur intelligenten Fabrik entwickelte sich schon in den 1970er Jahren, durch den Ansatz des Computer Integrated Manufacturing (CIM) und der Einführung der „Lean Production“ in den neunziger Jahren. Mit CIM wollte man eine automatisierte und computerintegrierte Fertigung vorsehen wobei der Mensch nur eine Kontrollfunktion einnehmen sollte (Schließmann, 2014). Jedoch war diese Idee schwer umsetzbar da wichtige Technologien wie IT-Infrastrukturen und Sensorik fehlten (Soder, 2014). Zudem fehlten Cloud Computing, Big Data, das Internet der Dinge (IoT) sowie Grundlagen zu der Maschine-zu-Mensch-Kommunikation (M2M-Kommunikation) (Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, 2012). Lean Production folgte dann auf CIM und hat noch heute als Ziel, die Produktion so verschwendungsarm wie möglich zu machen und verfolgt verschiedene Prinzipien, wie beispielsweise Just-in-Time, hohe Flexibilität und Qualitätskontrollen (Voigt, 2015). Jedoch durch sinkende Gewinne, kürzeren Produktlebenszyklen, individuelle Kundenwünsche und immer ändernden Stückzahlen stößt das Konzept der Lean Production an seine Grenzen (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, 2015). Deshalb wird es in Zukunft notwendig sein das Konzept der Lean Production mit neuen intelligenten Technologien zu erweitern. Somit entstand der Gedanke einer intelligenten Fabrik, Industrie 4.0.

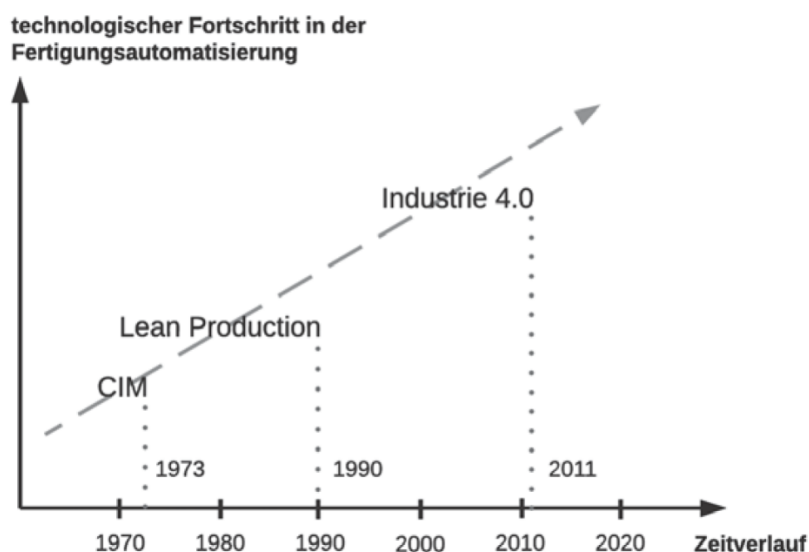


Abbildung 3: Entwicklung des CIM bis zur Industrie 4.0 (Ahrens, 2014)

Da das Thema Industrie 4.0 ziemlich neu ist kann man es zum besseren Verständnis in drei Stufen unterscheiden (Siepmann, 2016).

Stufe 1: Cyber-Physisches System (CPS). Darunter versteht man jedem einzelnen physischen Objekt, eine eigene Identität zu geben und durch Kombination von Software und Hardware einen intelligenten Verbund zu schaffen. Dazu sind verschiedene Technologien notwendig, Ubiquitous Computing, Internet der Dinge und Dienste und Cloud Computing. Ubiquitous Computing ist die Ausstattung aller Objekte in einem System durch Sensorik, Mikroelektronik, Kommunikationsmodulen und Rechenleistung, um dadurch Informationen und Daten zu verarbeiten und zu versenden. Solche Objekte können Produkte, Produktionsanlagen oder Produktionsmittel sein. Um diese gesammelten Daten und Informationen auszutauschen, braucht es das Internet der Dinge und Dienste. Dieses stellt die Verbindung der intelligenten Objekte mit dem Internet dar. Da durch das Sammeln an Daten große Mengen an Daten entstehen, braucht es das Cloud Computing, um diese auszulagern, sowie zusätzliche Dienste, welche diese Big Data in Echtzeit verarbeiten.

Stufe 2: Cyber-physisches Produktionssystem (CPPS). In dieser Stufe soll die Verbindung geschaffen werden zwischen den Cyber-physischen Systemen und der Produktion. Damit soll eine dezentrale und kontextadaptive Steuerung möglich sein, welche sich auch über Unternehmensgrenzen hinweg steuern lässt. Um dies zu erreichen, braucht es verschiedene Schnittstellen, wie die Maschine zu Maschine Kommunikation, aber auch geeignete Technologien für die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI). Hierfür könnten Virtual Reality (VR) oder Augmented Reality (AR) Schnittstellen bieten. Diese Technologie wäre notwendig, für die Überwachung und Steuerung der Anlagen und den Menschen als letzte Entscheidungsinstanz einzubeziehen.

Stufe 3: Industrie 4.0. Um einen Betrieb auf Industrie 4.0 umzurüsten, ist jedoch nicht nur ein Cyber-physisches Produktionssystem ausreichend, sondern notwendig, eine ganzheitlich verändernde und visionäre Denkweise in Verwaltung und Management zu haben. Es müssen Strategieanpassungen und neue Geschäftsmodelle und -prozesse entwickelt werden.

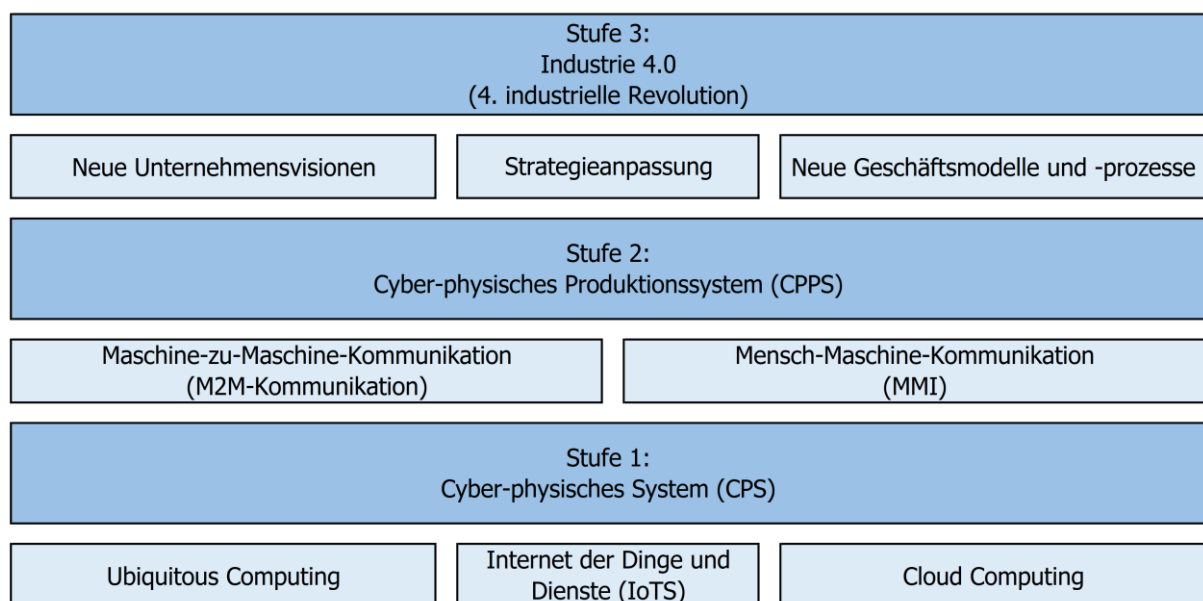


Abbildung 4: Komponenten der Industrie 4.0 (in Anlehnung an Roth, 2016)

Um die Unternehmen für die künftigen Veränderungen in der Globalisierung und mit den neuen Technologien zu rüsten, hat die italienische Regierung den Orientierungsplan „Piano Nazionale Industria 4.0“ veröffentlicht. Damit will die Regierung den Unternehmen die Möglichkeit bieten, von der vierten industriellen Revolution zu profitieren. Dieser Plan sieht verschiedene Faktoren für die bestmöglichen Investitionen in den Betrieb vor, um dadurch eine bessere Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Jedoch ist es für keinen Unternehmer Pflicht diesen Plan umzusetzen, sondern kann frei entscheiden in wie weit er diese Vorgaben verfolgt und umsetzt. Der Plan für Industrie 4.0 soll für Betriebe eine Unterstützung sein bei Investitionen, in der Digitalisierung der produktiven Prozesse, bei der Bewertung der Produktivität der Arbeiter, um Kompetenzen entsprechend auszubauen und in der Entwicklung neuer Produkte und Prozesse.

Der Plan „Piano Nazionale Industria 4.0“ sieht folgende Punkte vor (Ministero dello sviluppo economico, 2017):

Innovation: Industrie 4.0

- „Iper e Superammortamento“, investieren um zu wachsen. Damit sind sehr hohe Abschreibungsmöglichkeiten gemeint. Ziel ist es Unternehmer zu unterstützen und anzutreiben um Investitionen in Kapitalgüter, sei es materiell, nicht materiell, zu tätigen und dadurch neue Technologien sowie Digitalisierung den produktiven Prozessen zu erlangen.
Iperammortamento sind Abschreibungen von 250% gemeint beim Kauf oder Leasing von materiellen Gütern wie Geräte oder Technologien für die Umwandlung in einen Betrieb 4.0
Superammortamento sind Abschreibungen von 140% gemeint bei der Aneignung von Kapitalgütern sowie nicht materielle Güter wie Software und IT Systeme.
- „Nuova Sabatini“, Kredite für die Innovation. Damit sind Bankkredite gemeint. Ziel ist es Betriebe zu unterstützen, um Kredite aufzunehmen, um Investitionen in neue Kapitalgüter, Maschinen, Anlagen, Werkzeug und Digitale Technologien zu tätigen. Dabei handelt es sich um einen finanziellen Beitrag, um einen Teil der Kosten von einem Bankkredit zu decken. Die Kredithöhe muss zwischen 20.000 und 2.000.000 Euro liegen und von einer befähigten Bank stammen.
- „Credito d'imposte R&S“, Auszeichnung der in die Zukunft investiert. Hiermit will die Regierung die Unternehmer anstacheln mehr in Forschung und Entwicklung zu stecken. Dadurch sollen Prozesse und Produkte verbessert werden und somit die Wettbewerbsfähigkeit für die Zukunft garantiert werden. Verschiedene Vorteile von Steuerguthaben von 50% auf Forschung und Entwicklung, welche maximal 20 Millionen jährlich betragen dürfen. Das Steuerguthaben darf auch zur Deckung, auch bei Verlusten, von Steuern und Beiträgen hergenommen werden. Zudem ist es auch gültig bei Ausgaben, um qualifiziertes Personal einzustellen, bei Verträgen mit Forschungsinstituten und Universitäten, Ankauf von Maschinen und Material und für Startups.
- „Patent Box“, einen Wert geben für immaterielle Güter. Dies soll dazu beitragen den italienischen Markt attraktiv zu machen für nationale und nichtnationale Investitionen in geistige Arbeit, indem man begünstigte Versteuerungen fürs Einkommen vorsieht. Dadurch soll erreicht werden das immaterielle Güter

von Firmen nach Italien zurückgeholt werden. Zudem soll auch hier die Investition in Entwicklung und Forschung angekurbelt werden. Durch diese Regelung bekommt man eine verringerte Besteuerung von Patenten, registrierten Marken, Zeichnungen und Industriemodellen, Know How und Copyright geschützte Software.

- „Startup e PMI innovative“, um die Innovationen zu beschleunigen. Hiermit will die Regierung innovative Firmen unterstützen in ihrer ganzen Lebensfase. Allgemein die Entwicklung des nationalen Ökosystem für innovative Betriebe zu fördern. Dadurch soll eine neue Unternehmenskultur entstehen, welche auf Innovation, Zusammenarbeit und Internationalisierung setzt.

Wettbewerbsfähigkeit:

- „Fondo di garanzia“ Erhöhung der Kreditwürdigkeit. Durch diesen Punkt will die Regierung Unternehmen und Freiberufler unterstützen, um Kredite zu erhalten, auch wenn sie nicht über die benötigten Garantien und Bürgschaften verfügen.
- „ACE (Aiuto alla crescita economica)“, vermehren des Unternehmenskapital. Zweck ist es das Vermögen von Firmen zu stärken durch die Finanzierung des Eigenkapitals. Damit soll ein besserer Ausgleich erzielt werden zwischen Geldquellen und Geldausgaben sowie zwischen Risikokapital und Schulden. Dies soll zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit beisteuern.
- „IRES, IRI e contabilità per cassa“, Freimachung von Ressourcen. Damit soll der steuerliche Druck, der auf Firmen lastet, reduziert werden indem man den Gewinn in den Betrieben lässt. Reduzierung der Körperschaftsteuer für Betriebe von 27,5% auf 24% und somit eine Anpassung auf den EU Durchschnitt.
- „Salario di produttività“ Aufbesserung von Gehältern, um die Produktivität wiederherzustellen. Die Steigerung der Produktivität und Effizienz im Betrieb sollen sich auch positiv auf die Gehälter der Arbeiter auswirken. Auch sollten Mitarbeiter angekurbelt werden sich organisatorisch im Betrieb einzubringen. Zudem soll die Integration von *welfare* vorangetrieben werden wie zum Beispiel Zusatzrente.

2.2 Learning Factories als Konzept für Engineering Education 4.0

Lernfabriken dienen zur praxisnahen Ausbildung in Fachschulen, Universitäten und Firmen. Damit soll eine realitätsnahe Lehr- und Lernumgebung geschaffen werden, um Auszubildende so gut wie mögliche auf die Arbeitswelt vorzubereiten. Dabei werden Szenarien und Produktionsabläufe nachgestellt sowie Problemstellungen werden gelöst, um den Studenten ein praxisbezogenes Erfahrungs- und Fachwissen beizubringen (Steffen et al., 2013). Dabei gibt es verschiedene Grundkonzepte und Einrichtungen von Universitäten, Schulen, Bildungseinrichtungen und Firmen.

2.2.1 Grundkonzept einer Lernfabrik für Industrie 4.0

Das erste Mal wurde der Begriff Lernfabrik, beziehungsweise in Englisch „learning factories“, in den USA genannt. Dabei handelte es sich um eine 2000 Quadratmeter große Einrichtung, mit Maschinen, Materialien und Werkzeugen. In dieser Einrichtung wurden von Studenten Konstruktionsprojekte mit starken Verbindungen zu Industriebetrieben abgewickelt. Dieses erste Modell wurde national anerkannt und trug dazu bei sich Wissen mit realen Problemen anzueignen (Jorgensen et al., 1995; Lamancusa et al., 2008; ElMaraghy, 2014). Nach und nach erlangte das Konzept der Lernfabrik auch in Europa Bekanntheit und wurde in verschiedenen Bereichen eingesetzt (Wagner et al., 2012; Initiative on European Learning Factories, 2012). Eine der ersten Lernfabrik in Europa führte das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen an der Technischen Universität Darmstadt 2007 ein. Dabei wurden zwei reale Produkte vom Rohmaterial bis zum fertigen Produkt hergestellt. In der gleichen Zeit wurden auch andere Lernfabriken mit anderer Fokussierung aufgebaut. Im Jahr 2011 wurde durch die „Initiative on European Learning Factories“ und der ersten „Conference on Learning Factories“ das Thema und Konzept der Lernfabrik in ganz Europa verbreitet. Im Jahr 2014 wurde zusätzlich eine Gruppe „Collaborative Working Group“ eingeführt, welche das Argument Lernfabrik fördern und weiterentwickeln soll (Abele et al., 2015).

Lernfabriken sind hingegen anderer Lernmethoden, wie Planspiele, in einer realitätsnahen Umgebung. Sie beinhalten eine reale physische Ausstattung sowie Maschinen und Montagelinien. Dadurch sind die Lerninhalte näher am Berufsalltag. Die Lernziele sind hier aber nicht nur einfache Anlernprozesse, wie beispielweise bei Maschinenführer, sondern befassen sich mit der Umsetzung soziotechnischer Arbeits- und Produktionssysteme und den dazugehörigen Prozessen. Das sogenannte Industrial Engineering (Steffen et al., 2013).

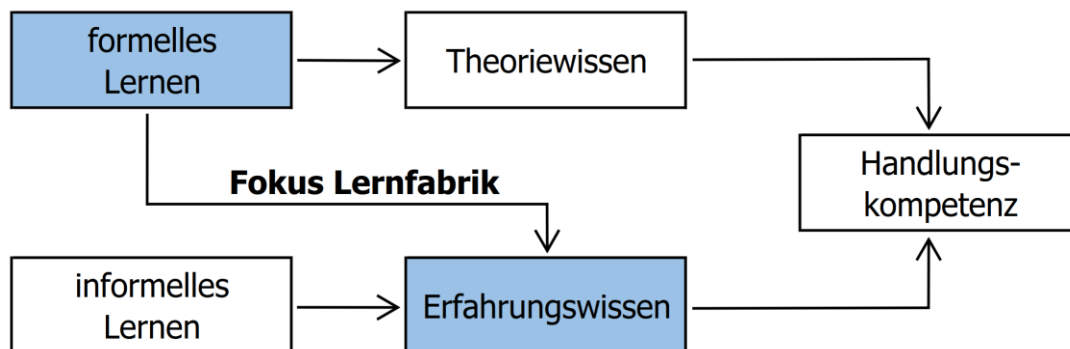


Abbildung 5: Aufbau Erfahrungswissen in Lernfabriken (Steffen et al., 2013)

Es müssen dabei drei zentrale technisch-prozessuale Kriterien erfüllt sein (Luetjens, 2006):

- Die Ausstattung der Lernfabrik wie Maschinen, Geräten und Anlagen dient als Realitätsgrad und somit sollte eine Ausbildung mit den neusten Technologien möglich sein.
- Realitätsnahe Fallbeispiele mit verschiedenen Abläufen und Kombination in der Produktionsplanung können umgesetzt werden.
- Ein Verständnis von Arbeitsorganisation und Technik kann in der Umsetzung verschiedener Produkte vermittelt werden.

Außerdem müssen verschiedene didaktische Grundprinzipien eingehalten werden (Lütjens, 2006):

- Problemorientierte Lehr- und Lernprozesse gestalten sich aus konkreten beruflichen Situationen.
- Problemlösungsfähigkeit muss in erfahrungsgeleiteten Arbeitssituationen entwickelt werden können.
- Arbeitsorganisation und Umgang mit Planungsstrategien wird zum Lernprinzip.
- Selbstorganisation und selbstverantwortliches Gruppenlernen bilden den Kerngedanken einer handlungsorientierten Lernumgebung, welche die Entscheidungs- und Reflexionsfähigkeit zum Ziel hat.

Durch das immer stärker in den Vordergrund rückende Thema von Industrie 4.0, rücken das Konzept der Lernfabrik und Industrie 4.0 immer näher aneinander. An der Ruhr-Universität Bochum am Lehrstuhl für Produktionssysteme wurde folgende Roadmap für eine Lernfabrik im Jahr 2016 veröffentlicht (Prinz et al., 2016):



Abbildung 6: Roadmap der Industrie 4.0 Lernmodule (Ruhr Universität, 2016)

- **Audit / Reifungsprozess:** Mit diesem Modul will man Firmen helfen zu einem Industrie 4.0 Betrieb zu werden. Durch einem Reifegradmodell wird der letzte Stand der Produktion aufgegriffen und festgestellt ob Technologie, Organisation und Personal den gleichen Entwicklungsstatus haben. Dadurch soll geholfen werden, den Betrieb systematisch auf das nächste Level für Industrie 4.0 zu heben.
- **Assistenzsysteme:** Hier werden die Teilnehmer der Lernfabrik in unterschiedlichen Situationen eines Produktionsprozesses ausgesetzt. Sie werden dazu angehalten den Prozess zu verbessern unter den Voraussetzungen von Kundennachfrage und Wünsche, Leistungskennzahlen und Laborgesetzen. Nach der

ersten Einheit wird über erste Verbesserungsideen diskutiert und ein Assistenzsystem eingeführt. In der zweiten Einheit wird sich nun auf mögliche Verbesserungen vom Einsatz des Assistenzsystems konzentriert und der eigentliche Mehrwert bewertet.

- Lernsysteme: Ziel dieses Modules ist es den Teilnehmern zu lernen, welche didaktische Methode angewandt werden kann, um einen Lerneffekt zu erzielen und Lerninhalte sich selbst beizubringen. Die Studenten werden dabei in verschiedenen Rollen in einer fiktiven Fabrik eingeteilt und müssen eine komplexe Problemstellung lösen. Danach werden die Rollen getauscht, sodass sich jeder in einer neuen Situation befindet und bekommt eine kleine Ausbildung zu seiner Rolle. In der dritten Runde wird das Konzept von DigiLernPro vorgestellt, was ein Endgerät (Laptop, Tablet...), WIFI System und einen Server enthält. Das Endgerät dient dazu, gelerntes Wissen aufzuzeichnen und wiederzugeben. Auf dem Server wird der Inhalt gespeichert und das WIFI System dient dazu es überall abzurufen. Dadurch kann jeder mit seinem Konto zugreifen und sich falls notwendig das nötige Wissen selbst aneignen.
- CPS e CPPS: Um eine möglichst genaue Annäherung an Industrie 4.0 zu haben, muss das Lernfabrikgerüst eine voll integrierte Verbindung haben, zum Austausch von Daten für eine Cyber-physische Produktion.

Die Module sind alle abhängig voneinander bzw. greifen ineinander und sollen dadurch dem Teilnehmer das Wissen und die Grundlagen vermitteln, um einen Betrieb in Richtung Industrie 4.0 zu bringen.

2.2.2 Das Smart Mini Factory Labor der Freien Universität Bozen

Die Universität Bozen betreibt ein Lernfabriklabor unter dem Namen Smart Mini Factory Labor. Es dient für die angewandte Forschung als auch für die Lehre. Dabei werden neue Technologien sowie Konzepte für die Produktion erforscht und simuliert. Vor allem klein- und mittelständische Unternehmen werden in Betracht gezogen, um die Anforderungen an hybride und menschenzentrierte Produktions- und Montagesysteme sowie Robotik und Mechatronik für die Industrieautomation zu untersuchen. Es soll dabei ein Wissensaustausch stattfinden zwischen Forscher, Studenten und Industrie, dass somit das theoretische Wissen Einzug findet in die Realität (Smart Mini Factory, 2018).



Abbildung 7: Smart Mini Factory Labor der Freien Universität Bozen (Smart Mini Factory, 2018)

Durch den Kontakt und Austausch zwischen Unternehmen und Forschung kann eine anwendungsorientierte Forschung betrieben werden und dieses Know-how wird dann an Studenten weitergegeben. Zudem werden Vorlesungen und Lehrveranstaltungen abgehalten, in welchen Studenten Übungen und Simulationen durchführen müssen und dadurch auch eine praktische Ausbildung erhalten. Das Smart Mini Factory Labor bietet auch die Möglichkeit für Studenten Abschlussarbeiten zu machen mit modernsten Technologien im Bereich Industrie 4.0 und Automation. Außerdem werden im Labor Seminare für Unternehmen angeboten, um dessen Mitarbeiter auf das Thema Industrie 4.0 vorzubereiten. Des Weiteren haben Unternehmen die Möglichkeit Forschungsk Kooperationen einzugehen und werden dabei unterstützt den Betrieb auf Industrie 4.0 umzurüsten (Smart Mini Factory, 2018).

Forschungsschwerpunkte des Smart Mini Factory Labors (Smart Mini Factory, 2018):

- Automation & Robotik: Zum Thema Automation wird der Fokus vor allem auf eine Leistungssteigerung gelegt. Hierbei werden Methoden und Technologien entwickelt, um Automaten und Mechanismen zu verbessern. In der Robotik versucht man Lösungen zu finden für nicht standardisierte und komplexe Produktionsprozesse in Sachen Gripping, Qualitätsprüfung und Automatisierung.
- Mechatronik und elektrische Antriebe: Der Forschungsschwerpunkt liegt hier im Entwickeln von mechatronischen Geräten für die Industrie 4.0, wie zum Beispiel intelligente Sensorik und präventive Wartung. Ein weiterer Schwerpunkt in diesem Thema ist die Entwicklung und Steuerung für elektrische Antriebe mit Sensorik, um hochgradigen Automatisierungs- und Mensch-Maschine-Interaktionsstrategien umzusetzen.
- Mensch-Maschine Zusammenarbeit: Hierbei wird sich mit der Auslegung, Gestaltung und Sicherheit der kollaborativen Arbeitsplätze und kollaborativen Robotik befasst.
- Hybride Montagesysteme: Der Fokus liegt hier auf einer Kombination von manuellen Arbeitsplätzen und automatisierten oder teilautomatisierten Stationen in der Montage. Dabei wird versucht den Mensch im Produktionssystem durch Maschinen zu unterstützen, sodass der Mensch die bestmögliche Leistung erzielt.
- Assistenzsysteme für die Produktion: Der Schwerpunkt liegt hier in der Untersuchung von Assistenzsystemen, welche dem Mensch helfen die physische und mentale Arbeitsbelastung durch sensorbasierten Systemen zu reduzieren und eine Effizienzsteigerung zu erhalten.
- Virtual/Augmented Reality: in diesem Thema wird der Einsatz von Virtual und Augmented Reality in Zusammenhang mit Fertigungs- und Montageumfeld untersucht. Diese Technologien werden mit verschiedenen Simulationssystemen für die digitale Prozess- und Fabrikplanung sowie mit Building Information Modeling Systemen verknüpft.
- Industrie 4.0 Lernfabriken: Dieser Punkt befasst sich, um das Thema Industrie 4.0 im Konzept der Lernfabriken zu integrieren. Dabei soll durch praktische Anwendung des gelernten Wissens in einer realitätsnahen Umgebung Erfahrung gesammelt werden.
- Baumanagement 4.0: Die Forschung bezieht sich hier auf die Digitalisierung und Optimierung der Prozesse der Bauablaufplanung und Ausführung. Dabei handelt es sich um Prozesse, für eine Echtzeit-Planung und Steuerung der

Baustelle sowie der Synchronisierung von Baustelle und Fertigung im Engineer-to-Order Umfeld. Auch wird sich mit dem Thema intelligente Vernetzung von Baustellenprozessen, dem Datenmanagement in Bauprojekten (Building Information Modeling) und dem Einsatz moderner Assistenzwerkzeuge, wie Virtual und Augmented Reality auseinandergesetzt.

Das Smart Mini Factory Labor bietet eine beachtliche Ausstattung im Bereich Robotik, intelligente Produktionssysteme und digitale Assistenzsysteme für die Produktion (Smart Mini Factory, 2018):

- Adept Quattro s650H parallel robot
- Adept Cobra i600 SCARA
- ABB IRB 120
- Universal Robots UR3
- Universal Robots UR10
- Ulixes Der Assistant A600
- FlesSim Software
- Oculus Rift
- Bosch Rexroth Assembly Tables
- Smart Touch Table
- Kuka KMR iiwa

Ein wunder Punkt des Smart Mini Factory Labors ist Verkettung der einzelnen Roboter, manuellen Stationen und hybriden Arbeitsplätze. Zudem gibt es keine Möglichkeit zur flexiblen Automatisierung.

2.3 Flexible Verkettung automatisierter und hybrider Fertigungssysteme

Der Trend in Richtung Variantenvielfalt, der durch die individuellen Kundenwünsche entsteht und der dadurch resultierenden kleineren Bestellmengen, erfordern eine flexible Verkettung der einzelnen Montagestationen. Unabhängig vom Fertigungssystem sollte dabei eine möglichst anpassungsfähige Verkettung von manuellen, hybriden und automatischen Arbeitsplätzen möglich sein. Dabei kann das Werkstück bzw. der Werkstückträger auf verschiedene Art fortbewegt werden, sei es über automatischen Transportrobotern oder über zusammenhängende Ketten/- Bandförderer.

2.3.1 Grundlagen der flexiblen Verkettung

Sobald ein Produkt, durch seine Komplexität und durch das notwendige Produktionsvolumen je Zeiteinheit, nicht mehr an einer Station wirtschaftlich montiert werden kann, sollte die Montage auf mehreren verketteten Arbeitsplätzen mit einer definierten Zeitvorgabe je Station aufgeteilt werden. Eine sogenannte Fließmontage. Hier ist die Art der materialflusstechnischen Verkettung der einzelnen Stationen ausschlaggebend. Die Verkettung kann unterschieden werden in manuelles Fördern und mechanisches Fördern in ungeordneter oder geordneter Form. Dabei sollten die Montagearbeitsplätze nach der Montagereihenfolge angeordnet und zeitlich abgestimmt sein (Warnecke, 1984).

Bei der manuellen Förderung wird, wie der Name schon sagt, das Montageobjekt manuell von Station zu Station bewegt. Meist werden Zwischenpuffer verwendet. Da diese Art der Förderung wenige Einschränkungen hat, kann diese leicht an die Räumlichkeiten angepasst werden (Lotter und Wiendahl, 2012).

Vorteile der manuellen Fließfertigung (Lotter und Wiendahl, 2012):

- Der Montagearbeiter kann den Arbeitsrhythmus durch den Puffer selbst anpassen.
- Unterschiedliche Leistung der Mitarbeiter hat durch den Puffer nicht gleich Auswirkungen auf der Gesamtausbringung einer Schicht.
- Neue Mitarbeiter sind schnell eingelernt.
- Störungen bei den Betriebsmitteln haben wegen den Puffern keinen Einfluss auf die Gesamtleistung.

Nachteile der manuellen Fließfertigung (Lotter und Wiendahl, 2012):

- Hoher Zeitaufwand für die manuelle Fertigung wird benötigt.
- Pufferbildung bewirkt hohe gebundenes Kapital.
- Nachträgliche Automatisierung der Montagevorgänge schwer umsetzbar.

Bei der mechanisch ungeordneten Förderung handelt es sich um ein Transportband, welches das Montageobjekt zu den einzelnen Montagestationen befördert. Der Mitarbeiter nimmt dabei das Objekt vom Band und nach dessen Montageschritt wird es wieder auf das Band zurückgegeben. Diese Art der Montage ist nicht so anpassungsfähig wie eine manuell geförderte Montage. Die Vorteile sind hier ähnlich wie bei der manuell geförderten Montage, jedoch ist es schwieriger Puffer zu bilden und dadurch ist diese Art der Montage taktgebunden. Der Vorteil, der sich daraus ergibt, ist die kürzere Durchlaufzeit des Produktes. Nachteil ist der hohe Sekundäraufwand, der beim Entnehmen und Ablegen des Montageobjektes vom Förderband entsteht. Auch weist es eine hohe Empfindlichkeit für Kurzzeitstörungen auf (Lotter und Wiendahl, 2012).

In der mechanisch geordneten Verkettung wird ein Werkstückträger benötigt. Die Werkstückträger tragen dazu bei, den geordneten Zustand des Montageobjekt zu erhalten und müssen dabei die Funktionen der genauen Position und der Aufnahme von Fügungskräften erfüllen. Das bedeutet der Werkstückträger ist zugleich eine Montagevorrichtung. Sobald dieser bei einem Arbeitsplatz angekommen ist, wird der Werkstückträger durch eine Stoppvorrichtung angehalten und der Montagevorgang kann durchgeführt werden. Dabei können auch mehrere Werkstückträger zwischen den Montagestationen eingesetzt werden, um einen Puffer zu erzeugen. Wenn die Montagevorgänge zu komplex werden und die dafür benötigte Zeit die Einzeltaktzeit weit überschreitet, kann ein Herausführen der Werkstückträger von der Hauptförderstrecke, auf sogenannte Bypass Strecken, erfolgen. Auf diesen Bypass Strecken befinden sich dann mehrere parallel geschaltete Einzelmontageplätze (Lotter und Wiendahl, 2012).

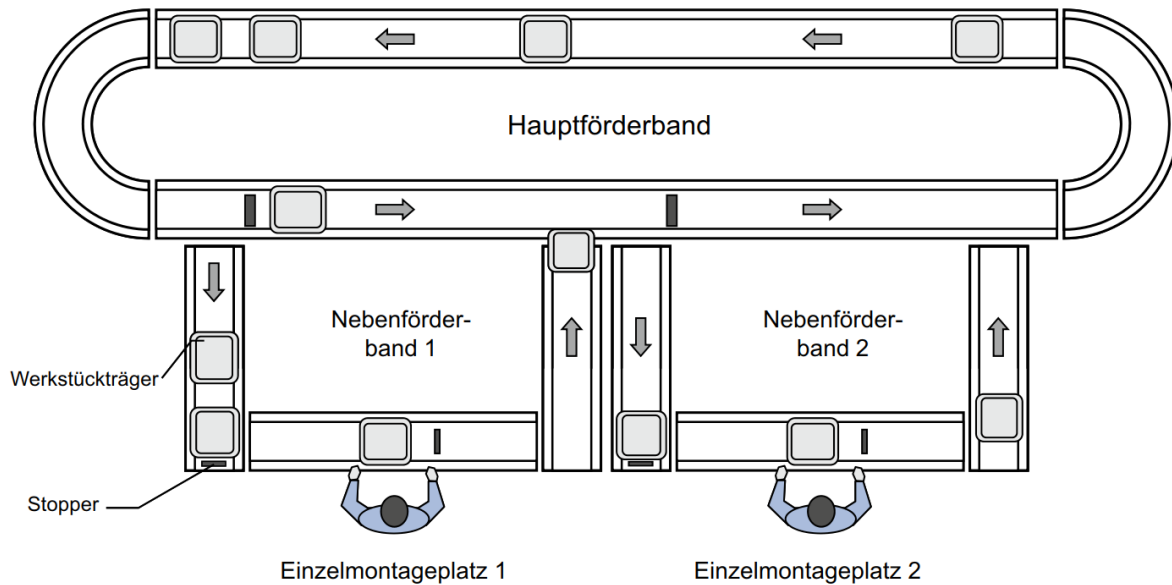


Abbildung 8: Hauptförderband mit zwei Bypass Förderbänder (Lotter und Wiendahl, 2012)

Eine Fließmontage mit mechanischer Förderung des Montageobjektes durch Werkstückträger und Bandsystemen ermöglicht neben dem Einsatz von manuellen Montagestationen auch den Einsatz von automatisierten Stationen, wie zum Beispiel Schraubvorgänge oder Stanz- und Pressvorgänge. Ebenfalls ermöglicht es den Einsatz von kollaborativen Robotern. Nach dem Stoppen der Werkstückträgers bei den mechanisierten Stationen, kann es erforderlich werden, durch zusätzliche Systeme, das Montageobjekt genau zu positionieren oder festzuhalten, um die Fügekräfte aufnehmen zu können. Dadurch, dass manuelle Stationen und automatisierte Stationen parallel arbeiten entsteht kein Taktzeitverlust. (Lotter und Wiendahl, 2012)

Vorteile der geordneten mechanisierten Fließmontage (Lotter und Wiendahl, 2012):

- Kurze Durchlaufzeiten des Produktes
- Manuelle Stationen können einfach auf automatisierte Stationen umgestellt werden können
- Kein manuelles Fördern notwendig

Nachteile (Warnecke, 1984):

- System oft teurer als bei den ersten beiden genannten Fließmontagearten
- Kurzzeitstörungen haben eine schnelle Auswirkung auf die Gesamtleistung des Systems
- Oftmals schwieriger Taktausgleich
- Mögliche einseitige Belastung der Arbeiter durch zyklische Tätigkeit

2.3.2 Manuelle, automatisierte und hybride Fertigungssysteme

Bei der manuellen Montage wird zwischen Klein- und Großgeräten unterschieden.

Bei manuellen Fertigungssystemen von **Kleingeräten** wird die Montage durch den Menschen ausgeführt. Der Mensch steht in diesem Fertigungsprozess im Mittelpunkt. Dabei führt der Mensch durch seine Hände, Fingerfertigkeit, Sinneswahrnehmung und

Intelligenz sowie mit verschiedenen Hilfsmitteln, Werkzeugen und Lehren die Montageschritte aus. Jedoch ist die Leistungsfähigkeit des Menschen je nach Tageszeit unterschiedlich bzw. kann nicht über 8 Stunden eine konstante Leistung zu bringen. Zudem wird Leistungsfähigkeit von einer Menge von Faktoren beeinflusst wie Klima, Lärm, persönliche Motivation, und Betriebsklima (Lotter und Wiendahl, 2012).

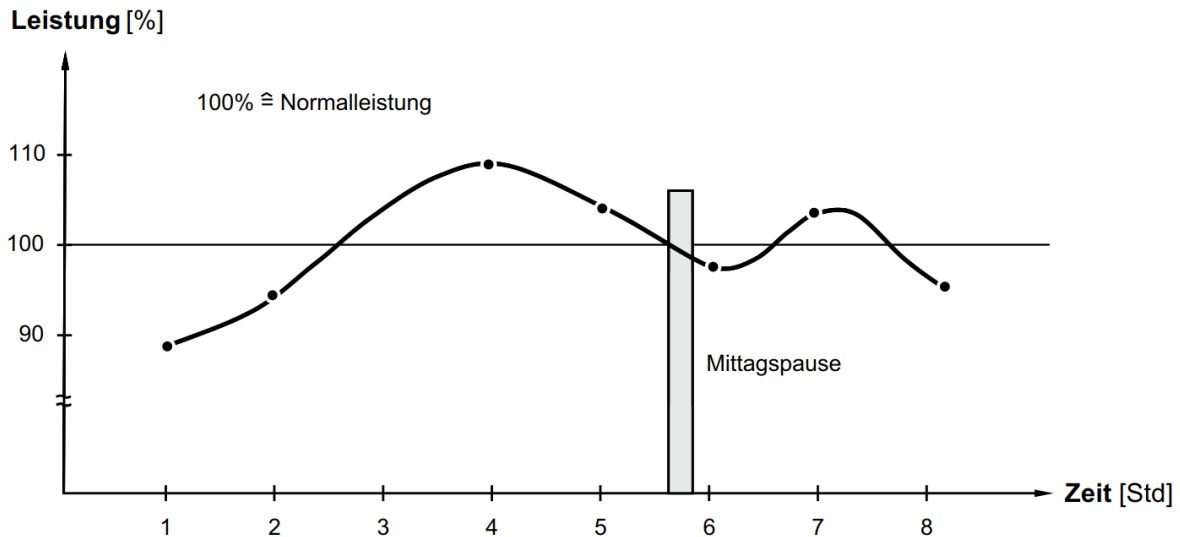


Abbildung 9: Typischer Verlauf der menschlichen Leistung in Prozent der Normalleistung (Lotter und Wiendahl, 2012)

Die ergonomische Gestaltung der Arbeitsbedingungen ist sehr wichtig, um eine dauerhafte Arbeitsleistung zu erhalten und gesundheitliche Schäden zu vermeiden. Auch die Qualitätsprüfung durch den Arbeiter selbst spielt eine wichtige Rolle, sodass keine fehlerhaften Produkte weitergegeben werden. Der Arbeitsplatz sollte zusätzlich mit den erforderlichen Hilfsmitteln ausgestattet sein, um qualitätsbestimmende Vorgänge zu unterstützen. Die Montagestation sollte dabei möglichst produktneutral eingerichtet werden. Durch die steigende Produktkomplexität und sich veränderten Stückzahlen und Varianten sollte auch auf eine mögliche Nachrüstung auf einen automatisierten Prozess vorgesehen werden. Auch sollte der Arbeitsplatz der Körpergröße angepasst werden und je nach Wahl sitzend oder stehend gearbeitet werden können. Hierfür gibt es modulare Baukastensysteme, welche wesentliche Merkmale erfüllen und dementsprechend erweitert werden können (Lotter und Wiendahl, 2012).

- Greifbereich: Dieser sollte innerhalb eines horizontalen Blickwinkelbereichs von 35 Grad liegen. Wenn der Greif- und Blickwinkel diese überschreitet, werden Körperdrehungen notwendig und dadurch ein Mehraufwand.
- Teilehandhabung: Alle Körperbewegungen wie Drehung, Gehen, Beugen und Aufrichten sollen vermieden werden. Diese erhöhen unnötig die Handhabungszeiten.
- Greif- und Fügevorgänge: Diese Vorgänge über Herzhöhe sollten vermieden werden. Dadurch wird die Blutzirkulation beeinträchtigt und dadurch nimmt die Leistungsfähigkeit des Arbeiters ab.



Abbildung 10: Sitz-Steharbeitsplatz (Bosch Rexroth a, 2018)

Bei der Manuellen Montage von **Großgeräten**, wie z.B. Maschinen, Traktoren, LKW-Achsen usw. wird die Montagestruktur hauptsächlich durch das Gewicht, Abmessung des Produktes und dessen Produktionsrate bestimmt. Hierbei lassen sich die geeigneten Montagesysteme in zwei Organisationsformen (Baustellenmontage und Fließmontage) und jeweils zwei unterschiedlichen Ausprägungen unterteilen. Die zu produzierende Stückzahl spielt dabei eine wichtige Rolle für die Auswahl des Montagesystems (Eversheim, 1989; Lotter und Schilling, 1994).

- Bei der reinen Baustellenmontage bleiben sowohl das Montageobjekt als auch das Montagepersonal stationär.
- Bei der Gruppenmontage bleibt das Montageobjekt ebenfalls stationär und das Montagepersonal wechselt nach vorgegebenen Ablaufplan das Montageobjekt (Schimke, 1977).
- Bei der Fließmontage bewegt sich das Montageobjekt von Montagestation zu Montagestation und das Montagepersonal bleibt stationär bei der Montagestation.
- Beim One-Piece-Flow-Prinzip bewegt sich das Montagepersonal zusammen mit dem Montageobjekt an bestimmten Plätzen, wo Material bereit gestellt wird vorbei, mit welchem das Produkt zusammengebaut wird.

In der hybriden Montage wird eine Kombination von automatisierten und manuellen Arbeitsstationen zur Montage eingesetzt. Dieses Montagesystem liegt hinsichtlich Variantenvielfalt, Produktivität, Flexibilität und Stückzahl zwischen der manuellen und automatisierten Montage. Die hybride Montage ist vor allem bei Kleingeräten und mittleren Stückzahlenbereich geeignet. Jedoch richtet sich Einsatzmöglichkeit nicht nur an die Stückzahl, sondern auch an die Komplexität der Montageschritte (Lotter und Wiendahl, 2012).

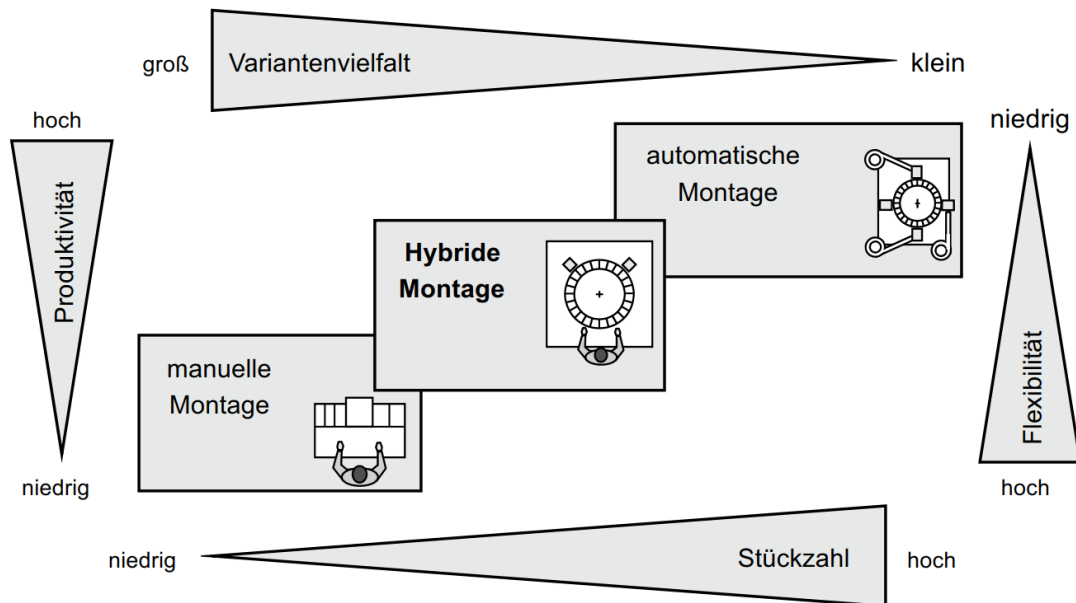


Abbildung 11: Einsatzbereiche manueller, hybrider und automatischer Montagekonzepte (Lotter und Wiendahl, 2012)

Die hybride Montage gewinnt immer mehr an Bedeutung, da die Produktlebenszeiten immer kürzer werden und die Variantenvielfalt zunimmt. Ausgangspunkt für die Planung solcher hybriden Montagesystemen ist immer die rein manuelle Montage und wird dann je nach Montageaufgabe mit dem passenden Automatisierungsgrad angepasst. Dabei muss aber aufgepasst werden, dass der Mensch im Mittelpunkt der Montageaktivität steht und nicht zum Lückenbüßer der Automatisierung wird. Zudem müssen die automatisierten Stationen und manuellen Stationen gut getaktet sein oder es werden Pufferzonen eingerichtet, sodass für den Menschen keine Stresssituationen oder Wartezeiten entstehen (Lotter, 2012).

Einteilung	Ausprägung / Merkmale
• räumliche Anordnung der Arbeitsplätze und Stationen	- Kreis, Oval - Linie - Karree - kombiniert, sonstig
• zeitliche Bindung	- mit Taktzwang - ohne Taktzwang
• Arbeitsablauf	- stückweise - satzweise
• Flexibilität	- starr verknüpft - flexibel austauschbar
• Art des Umrüstens bei Typenwechsel	- manuell - automatisch

Abbildung 12: Arten und Formen hybrider Montagesysteme (Lotter et al., 1998)

Hybride Montagesysteme sind im Gegensatz zu der reinen manuellen Montage mit höheren Investitionskosten verbunden. Jedoch im Vergleich mit einer voll automatisierten Anlage, welche noch höhere Investitionen erfordert, hat dieses Montagekonzept eine höhere Flexibilität (Lotter und Wiendahl, 2012).

Bei sogenannten Massenprodukten kommt seit den 1950er Jahren eine vollautomatisierte Montage zum Einsatz. Die Maschinen und Montageautomaten sind meist individuell für ein Produkt ausgelegt und somit wenig flexibel einsetzbar. Das Ausmaß der Automatisierung und die Schwierigkeit einer Automatisierung hängt vom Schwierigkeitsgrad der Handhabungsoperationen und des Fügeverfahrens ab. Dabei handelt es sich um die Zugänglichkeit zum Fügeort, die Möglichkeit des Verhakens von Fügeteilen, die Werkstücksteifheit und das Sichern von Teilen während der Montage. Bei biegeschlaffen Teilen muss zudem eine besondere Vorrichtung benutzt werden, was die Automatisierung erschwert. Um eine Montage zu automatisieren, müssen aber auch Zuverlässigkeit, Zeitdauer, Genauigkeit und Kosten mit einbezogen werden. Um ein Maß über die Automatisierbarkeit von einem manuellen Prozess zu haben, gibt es Analyseverfahren (Spingler und Beumelbarg, 2002).

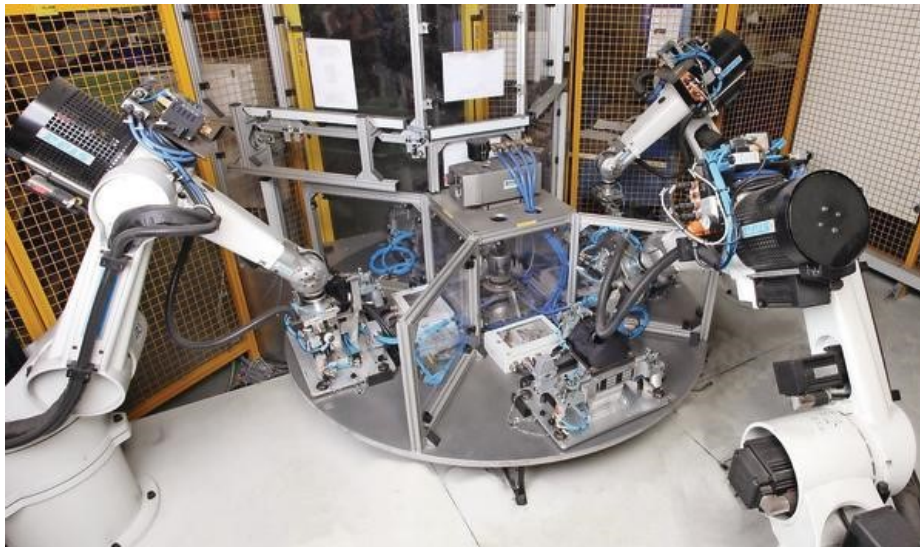


Abbildung 13: Batteriemodul-Montage automatisiert (Automationspraxis, 2014)

Momentan geht der Trend jedoch von vollautomatisierten Anlagen in Richtung kollaborative Systeme wo Mensch und Maschine direkt miteinander zusammenarbeiten. Dabei soll der Roboter aus dem Käfig raus und Arm in Arm mit dem Arbeiter hantieren. Die sensitiven Roboter, kurz auch Cobots genannt für kollaborative Roboter finden immer mehr Einzug in die industrielle Produktion, wie zum Beispiel bei BMW in der Getriebefertigung (von Lindern, 2017). Durch die Sensortechnik wird die Bewegung des Menschen und dessen Position ständig überwacht und dadurch sind die Cobots sicher genug zur Interaktion mit dem Arbeiter. Sobald eine Person dem hantierenden Roboter zu nahekommt, also der vorgeschriebene Sicherheitsabstand unterschritten wird, bewegt sich der Roboter langsamer, um den Angestellten nicht zu verletzen. Zudem wird die Roboterbewegung reduziert, sodass auch bei unvorhergesehenem Kontakt von Mensch und Roboter keine ernsthaften Verletzungen entstehen können. Die kollaborativen Roboter sind leicht programmierbar, einfach zu bewegen und sehr flexibel. Ein großer Vorteil der Cobots ist die Unterstützung der Mitarbeiter bzw. dass monotone und körperlich anstrengende Arbeiten dem Angestellten erspart bleiben (Hannover Messe, 2018).

2.3.3 Übersicht von Systemen zur flexiblen Verkettung

Es gibt verschiedene Systeme, um eine flexible Verkettung zwischen den Montage- oder Fertigungsstationen herzustellen. Um Fördermittel einzuteilen, kann im Groben zwischen Stetigförderer und Unstetigförderer für Stückgüter unterschieden werden. Zudem kann dann zwischen schienenengebundenen Systemen und nicht schienenengebundenen Systemen unterschieden werden.

Stetigförderer für Stückgüter			Unstetigförderer		
flurgebunden			Flurfördermittel	flurfreie Fördermittel	
Bandförderer	Kettenförderer	Rollen-/ Kugelbahnen	gleislos	gleisgebunden	Krane
z.B. Gurtförderer	z.B. Staukettenförderer	z.B. Rollenbahnen angetrieben	z.B. Stapler	z.B. Regalbediengerät	z.B. Brückenkran

Abbildung 14: Übersicht Fördermittel (in Anlehnung an Günthner, 2006)

Bei den schienenengebundenen Transportsystemen im Kleingüterbereich handelt es sich meist um Gurt- oder Kettenförderer, welche je nach Hersteller als Zahnriemen-, Flachplattenketten-, Saurollenketten-, Rundriemen- oder Scharnierbandförderer ausgeführt sind. Darauf wird das Werkstück oder der Werkstückträger befördert. Zudem kann je nach Hersteller solch ein Förderer mit Kurven und Querverbindungen ergänzt werden. Um eine hohe Systemflexibilität zu haben, ermöglichen solche Transfersysteme das Ausschleusen des Werkstückträgers (WT) auf Nebenplätzen, sogenannten Bypass-Plätzen. Durch den Anbau verschiedener Puffersystem, Sensoren, Positioniereinheiten und z.B. durch Einsatz von RFID können diese Systeme für eine hohe Flexibilität in der Produktion sorgen (Bosch Rexroth b, 2018).

Eine andere Möglichkeit für eine anpassungsfähige Verbindung ist die Verwendung von Transfersystemen mit Linearmotoren. Auch diese sind schienengebunden. Der Vorteil, im Vergleich zu den klassischen Transfersystemen mit Gurten, ist das einzelne Ansteuern der Werkstückträger. Dabei können diese in Fahrtrichtung beschleunigt und zielgenau angehalten werden. Dadurch können Taktzeiten verkürzt werden. Auf solchen Strecken lassen sich beliebig viele Werkstückträger einsetzen (Bosch Rexroth c, 2018).

Auch Systeme mit einzelnen Shuttles mit integrierter Antriebseinheit weisen eine hohe Flexibilität in der Verbindung verschiedener Fertigungs- und Montagestationen auf. Diese Art der Förderung ist schienengebunden, jedoch können die Shuttles mit der darauf montierten Werkstückträgerplatte unabhängig zu den anderen Shuttles agieren (Montratec, 2017).

Eine Alternative zu schienenengebundenen Systemen, sind die fahrerlosen nicht schienenengebundenen Transportsysteme. Sie bestehen in der Regel aus dem Transportfahrzeug, Leitsteuerung, Mittel zur Standortbestimmung und Lageerfassung, Datenübertragung sowie Infrastruktur und periphere Einrichtungen wie z.B. Ladestation. Diese Systeme können im Innen- und Außenbereich eingesetzt werden und ermöglichen eine

flexible und effiziente Intralogistik. Da FTS (fahrerlose Transportsysteme) an keine Arbeitszeiten gebunden sind und keine Pausen benötigen im Vergleich zu einem Angestellten, können sie somit eine kontinuierliche Versorgung der benötigten Güter ermöglichen. Zudem lassen FTS sich ohne Probleme in bereits bestehende Strukturen integrieren und je nach zu transportierendem Gut können passende Fahrzeuge (je nach Gewicht, Abmessungen usw.) eingesetzt werden. Fahrerlose Transportsysteme können jedoch nicht immer automatisch auf Betriebsstörungen reagieren, was ein Nachteil ist (Michalek, 2017).

3 Analyse Ist-Situation und Erstellung Lastenheft

Die Freie Universität Bozen führt das Smart Mini Factory Labor kurz SMF. Es wird für Lehrzwecke und Forschung im Bereich Industrie 4.0 genutzt. Im Labor befinden sich verschiedenen Roboter als auch manuelle Montagestationen, die jedoch nicht miteinander verbunden sind. Zurzeit sind diese Roboter als auch manuellen Arbeitsplätze nur einzeln nutzbar. Ziel ist es diese einzelnen Stationen miteinander zu verketteten. Dabei sollte das Transfersystem so flexibel wie möglich gestaltet werden und dazu sollte das System auch noch modular erweiterbar sein. Um eine solche flexible Verkettung jedoch umzusetzen, sind bestimmte Anforderungen einzuhalten. Anforderungen, welche das Labor bzw. die Räumlichkeiten betreffen, Anforderungen, welche das Transfersystem selbst betreffen sowie Voraussetzungen der einzelnen automatisierten, hybriden oder manuellen Stationen. Dabei sind durch eine Marktrecherche verschieden Anbieter mit unterschiedlichen Systemen und Technologien in die engere Auswahl gekommen.

3.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Zur Ausstattung des SMF zählen die Roboter: Adept Quattro s650H parallel robot, Adept Cobra i600 SCARA, ABB IRB 120, Universal Robots UR3, Universal Robots UR10 und Kuka KMR iiwa. Zudem verfügt das Labor über vier Stück Bosch Rexroth Montagetische. All diese Roboter und Tische stehen einzeln ohne mögliche Verkettung im Labor. Aus diesem Grund können nicht alle vorhandenen Fähigkeiten der Roboter eingesetzt werden. Ziel ist es ein passendes Layout zu erstellen und ein Transfersystem für die flexible Verkettung der Roboter- sowie manuellen Stationen zu finden.

3.1.1 Aktuelles Layout

Das Smart Mini Factory Labor der Freien Universität Bozen hat 140 Quadratmeter. Das aktuelle Layout setzt sich zurzeit aus verschiedenen Bereichen zusammen:

Bereich A (rot): Der Bereich A ist der zur Verfügung stehende Platz, in welchem eine Lösung für die Verkettung der zu integrierenden Geräte und Maschinen gefunden werden muss.

Bereich B (grün): Dieser Bereich beinhaltet Stühle und Tische als Sitzmöglichkeit für Sitzungen, Schulungen und Vorträge.

Bereich C (blau): Hier befinden sich Schreibtische und Arbeitsplätze der Labortechniker und der Angestellten der Universität.

Bereich D (pink): In diesem Bereich sind die manuellen Montagetische von Bosch Rexroth aufgebaut.

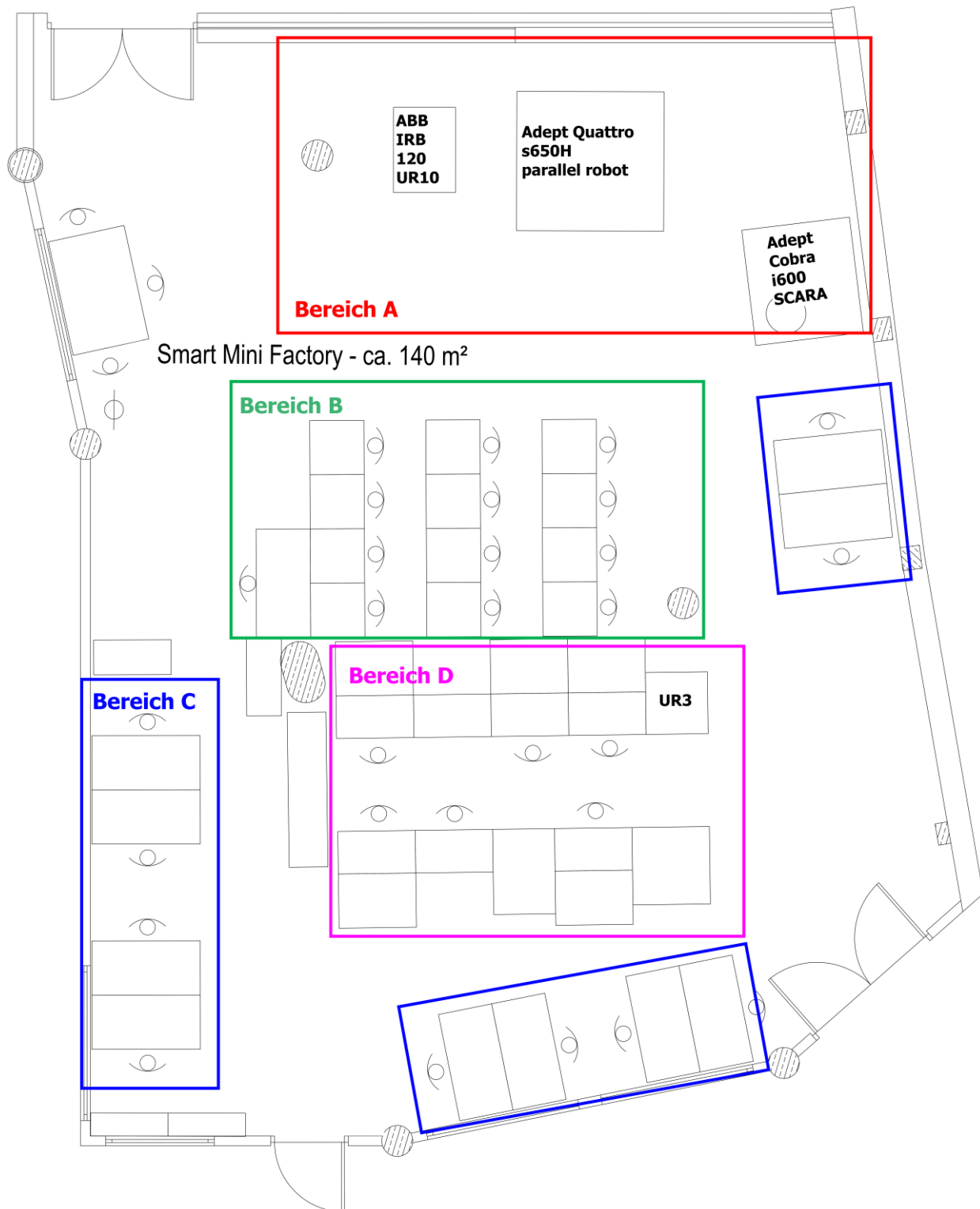


Abbildung 15: Smart Mini Factory Labor (Freie Universität Bozen): aktuelles Layout

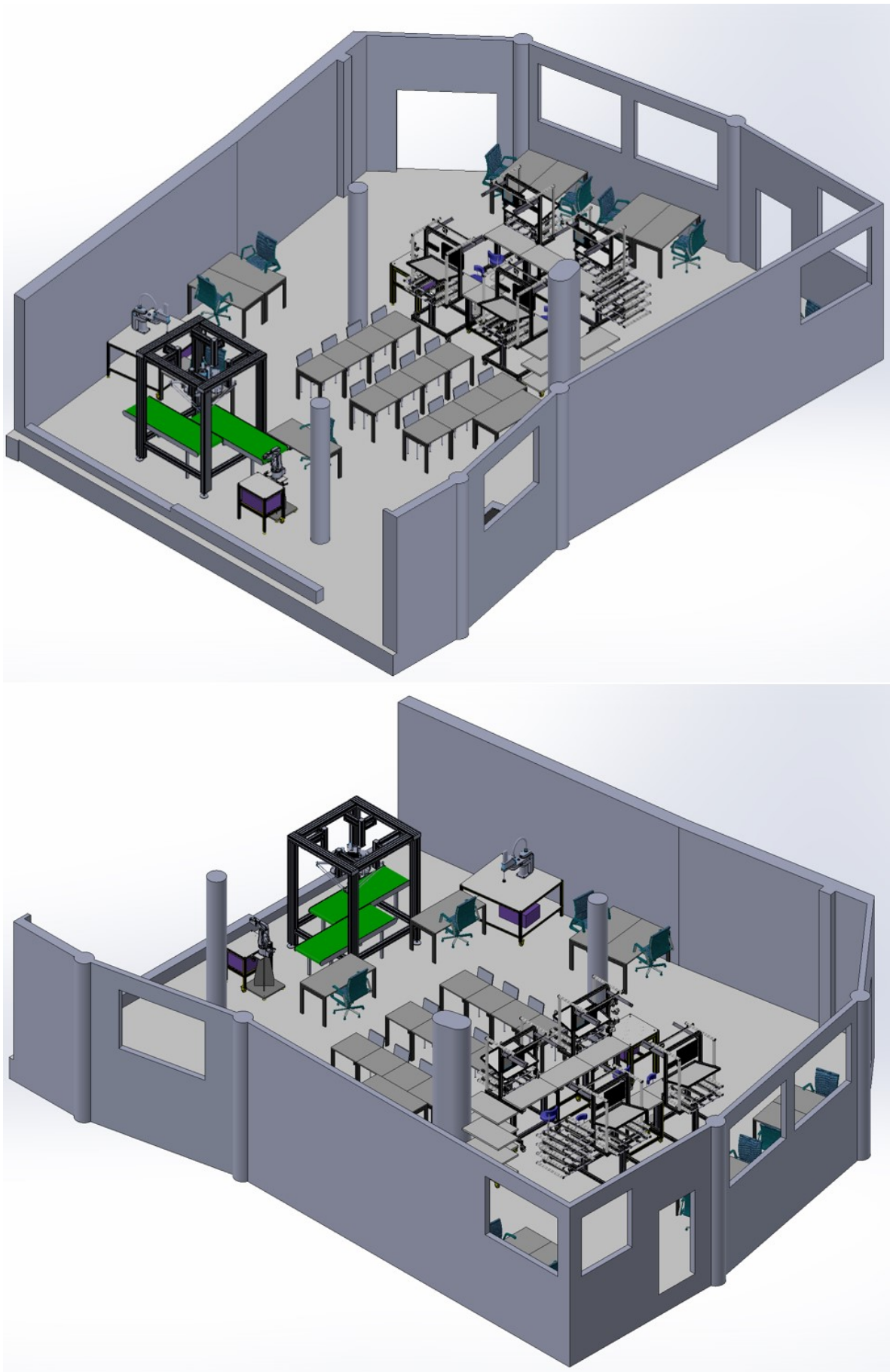


Abbildung 16: Aktuelles Layout in 3D, Ausschnitte

3.1.2 Zu integrierende Geräte und Maschinen

Im Smart Mini Factory Labor befinden sich folgende zu integrierende Roboter (Smart Mini Factory, 2018):

- Adept Quattro s650H parallel robot: Dieser besitzt vier Achsen und vier Motoren, welche die Kontrolle in X, Y und Z Richtung ermöglichen sowie die Rotation des Werkzeuges. Dieser Roboter wird oberhalb seines Arbeitsbereichs montiert.

Technische Daten:

- Degrees of freedom: 4 joints
- Weight: 117 kg
- Payload: Rated 2 kg; Maximum 6 kg
- Reach: 600 mm
- Repeatability: XYZ ± 0.1 mm; Theta 0.6°
- Power Requirements: 24 VDC - 6 A; 200 - 240 VAC - 10 A, single-phase
- Max. Working Range: Diameter 1300 mm; Height: 500 mm; Rotation: $\pm 180^\circ$; Joint 2: $\pm 150^\circ$, 720°/s; Joint 3: 210 mm, 1100 mm/s; Joint 4: $\pm 360^\circ$, 1200°/s
- Max. speed: 10 m/s; 3600°/s
- Max. acceleration: 150 m/s²
- Digital I/O channels: Amplifiers-in-Base - 12 inputs, 8 outputs
- Programming: V+



Abbildung 17: Adept Quattro s650H parallel robot (Omron a, 2018)

- Adept Cobra i600 SCARA: Dabei handelt es sich um einen vier Achsen Roboter. SCARA steht für Selective Compliant Assembly Robot Arm, der Roboterarm ist fix in Z-Richtung aber ziemlich bewegungsfähig in X-, Y-Richtung und somit gut für Montageoperationen geeignet. Er eignet sich besonders für Montage, Materialbeschaffung, Verpacken, Schrauben anziehen und anderen schnellen präzisen Operationen.

Technische Daten:

- Degrees of freedom: 4 joints
- Footprint: 338 mm x 200 mm
- Weight: 41 kg
- Payload: Rated 2 kg; Maximum 5.5 kg
- Reach: 600 mm
- Repeatability: XY ± 0.017 mm; Z ± 0.003 mm; Theta $\pm 0.019^\circ$
- Power Requirements: 24 VDC - 6 A; 200 - 240 VAC - 10 A, single-phase
- Movement: Joint 1: $\pm 105^\circ$, 386°/s; Joint 2: $\pm 150^\circ$, 720°/s; Joint 3: 210 mm, 1100 mm/s; Joint 4: $\pm 360^\circ$, 1200°/s
- Digital I/O channels: Amplifiers-in-Base - 12 inputs, 8 outputs
- Programming: V+



Abbildung 18: Adept Cobra i600 SCARA (Omron b, 2018)

- ABB IRB 120: Hierbei handelt es sich um einen anthropomorphen Roboter mit einem Eigengewicht von 25 kg. Er kann bis zu 3 kg anheben und hat dabei eine Reichweite von 580 mm. Der Roboterarm besteht hauptsächlich aus Aluminium und durch die starken und kompakten Motoren ist es möglich schnelle sowie präzise Bewegungen durchzuführen.

Technische Daten:

- Degrees of freedom: 6 rotating joints
- Dimensions: Base - 180x180 mm; Height - 700 mm
- Weight: 25 kg
- Payload: 3 kg (4 kg with vertical wrist)
- Reach: 580 mm
- Repeatability: 0.01 mm
- Power Consumption: 250W

- Movement: Axis 1 +165° to -165°, 250 °/s; Axis 2 +110° to -110°, 250 °/s; Axis 3 +70° to -110°, 250 °/s; Axis 4 +160° to -160°, 320 °/s; Axis 5 +120° to -120°, 320 °/s; Axis 6 +400° to -400°, 420 °/s
- Performance: 25x300x25 mm - 1kg picking cycle 0.58 s;
25x300x25 mm - 1kg picking cycle, with 180° axis 6 reorientation 0.92 s
- Programming: ABB Robot Studio IDE, through the ABB's programming language "RAPID"



Abbildung 19: ABB IRB 120, anthropomorpher Roboter (Smart Mini Factory, 2018)

- Universal Robots UR3: Der UR3 ist ein kollaborativer Roboter, der einem Arbeiter hilft manuelle Operationen in der Montage durchzuführen. Diese Art von Robotern ermöglichen eine Mensch-Maschine Interaktion und helfen die Produktionsleistung zu steigern.

Technische Daten:

- Degrees of freedom: 6 rotating joint
- Payload: 3 kg
- Reach: 500 mm
- Repetability: ± 0.1 mm
- Power Consumption: Min 90W; Typical 125W; Max 250W
- Ambient temperature range: 0-50°C - at high continuous joint speed, ambient temperature is reduced
- Programming: Polyscope graphical user interface on touchscreen with mounting

- Collaboration Operation: 15 advanced adjustable safety functions; TÜV NORD Approved Safety Function; Tested in accordance with EN ISO 13849:2008 PL d



Abbildung 20: Universal Robots UR3, kollaborativer Roboter (Universal Robots, 2018)

- Universal Robots UR10: Der UR10 ist ebenfalls wie der UR3 ein kollaborativer Roboter und ist als solcher der größte von Universal Robots. Er ist für schwere Lasten ausgelegt und ist ein anthropomorpher Roboter mit 6 Drehgelenken. Er ist ein vielseitig einsetzbarer Roboter und ermöglicht dadurch eine hohe Flexibilität, zudem besitzt er eine hohe Genauigkeit.

Technische Daten:

- Degrees of freedom: 6 rotating joint
- Payload: 10 kg
- Reach: 1300 mm
- Repetability: ± 0.1 mm
- Power Consumption: Min 90W; Typical 250W; Max 500W
- Ambient temperature range: 0-50°C - at high continuous joint speed, ambient temperature is reduced
- Programming: Polyscope graphical user interface on touchscreen with mounting
- Collaboration Operation: 15 advanced adjustable safety functions; TÜV NORD Approved Safety Function; Tested in accordance with EN ISO 13849:2008 PL d



Abbildung 21: Universal Robots UR10, kollaborativer Roboter (Smart Mini Factory, 2018)

- Kuka KMR iiwa: Hierbei handelt es sich um eine Kombination aus einer autonomen mobilen Plattform und dem Roboterarm LBR iiwa. Dieser Roboter zeichnet sich durch eine ortsunabhängige und flexible Einsetzbarkeit aus. Dadurch ist er eine perfekte Basis für Industrie 4.0.

Technischen Daten LBR iiwa:

- Max. total payload: 14 kg
- Number of axes: 7
- Wrist variant: In-line wrist
- Mounting flange A7: DIN ISO 9409-1-A50
- Positioning accuracy (ISO 9283): ± 0.1 mm
- Weight: 29.5 kg
- Protection rating: IP54
- Clean room class: ISO 3

Technische Daten Mobile Plattform:

- Vehicle height: 700 mm
- Length with scanners and safety zones: 1,080 mm
- Width with scanners and safety zones: 630 mm
- Weight: 390 kg
- Max. payload: 170 kg/200 kg without LBR iiwa
- Max. velocity in longitudinal direction: 3.6 km/h
- Max. velocity in lateral direction: 2 km/h
- Wheel diameter: 250 mm
- Clean room class: ISO 5



Abbildung 22: Kuka LBR iiwa (Smart Mini Factory, 2018)

Zu den hier genannten Robotern sollte noch eine manuelle Montage Station je nach Verwendung integriert werden können.

- Bosch Rexroth Montagetische: Diese Tische sind ergonomisch und modular aufbaubar. Zudem erfüllen sie die Prinzipien des Lean Management.

Technische Daten:

- Modular und schnell erweiterbar
- Mit Licht ausgestattet
- Pneumatische Anschlüsse
- Ausgestattet mit einem Kanban-System

Das Smart Mini Factory Labor der Freien Universität Bozen besitzt vier solcher Montagetische, wobei zwei Tische elektrisch höhenverstellbar sind.



Abbildung 23: Bosch Rexroth Montagetische (Smart Mini Factory, 2018)

3.1.3 Zusammenfassung Ziel

Derzeit sind im Smart Mini Factory Labor verschiedene Roboter und manuelle Montagestationen vorhanden. Diese dienen für Lehrzwecke als auch für Forschungen im Bereich Automation und Robotik, Mensch-Maschine-Zusammenarbeit und Produktionsplanung und Optimierung.

Ziel ist die oben angeführten Roboter und Geräte miteinander zu verketteten und dies so flexibel wie möglich. Dabei sollen nicht nur einzelne Roboter über ein System verbunden werden, sondern ein Transfersystem und Layout gefunden werden, um ganze Produktionsabläufe durchzuspielen. Deshalb ist es wichtig, dass sowohl manuelle Stationen als auch automatisierte und hybride Arbeitsplätze flexibel verknüpft werden können. Durch dieses Konzept soll das Thema Industrie 4.0 und Lernfabriken 4.0 vorangetrieben werden. Somit haben Studenten die Möglichkeit Aufgabenstellungen mit neuester Technik zu lösen und durch realitätsnahes Lernen viel Erfahrung für die Berufswelt zu sammeln. Ebenso steht auch den Forschern das neue System zur Verfügung und dadurch kann noch intensiver an oben genannten Forschungsfelder gearbeitet werden.

3.2 Anforderungsermittlung

Für die flexible Verkettung müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Umsetzung ist die mögliche Einbindung der folgenden Roboter:

Adept Quattro s650H parallel robot:

Laboreinsatzgebiet: Geeignet für sehr schnelle Anwendungen im Bereich Verpacken, Fertigung, Montage und Material-Handling. Dabei ist zu beachten, dass dieser Roboter auf ein Gerüst montiert ist, welches wiederverwendet werden soll. Dabei besitzt er auch eine Sicherheits-Einhausung.

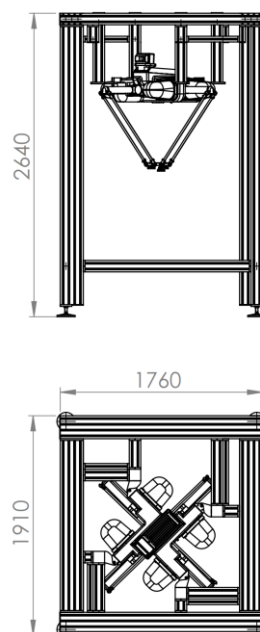


Abbildung 24: Gerüst des Adept Quattro s650H parallel robot

Adept Cobra i600 SCARA:

Laboreinsatzgebiet: Dieser Roboter wird durch einen Dreh-Vibrations-Zuführer und einem Kamerasystem ergänzt. Dadurch dient er vor allem für pick and place Anwendungen. Dieser Roboter mit den zugehörigen Komponenten ist auf einem Tisch montiert und für die Sicherheit dementsprechend eingehaust.

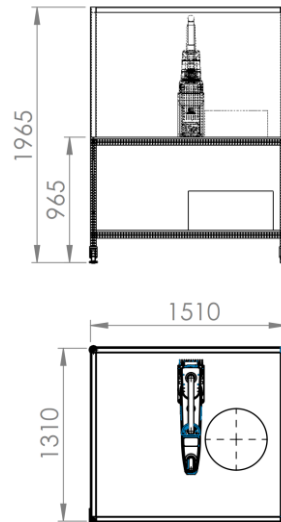


Abbildung 25: Tisch mit Adept Cobra i600 SCARA Roboter

ABB IRB 120:

Laboreinsatzgebiet: Sein Einsatzgebiet betrifft das Material-Handling, Montage sowie Dosieroperationen. Er ist ziemlich kompakt, hat ein geringes Eigengewicht, einen exzellente Kontrollmöglichkeit und überzeugt mit einer hohen Weggenauigkeit. Der Roboter ist auf einen Sockel montiert, besitzt jedoch keine Sicherheitsvorkehrungen und Bedarf deshalb besonderem Augenmerk im Rahmen der Integration in das Gesamtsystem oder muss im Sinne eines „retrofitting“ mit zusätzlichen Sicherheitsvorkehrungen ausgestattet werden.

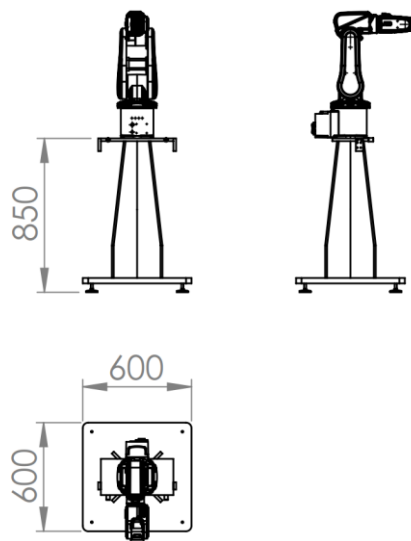


Abbildung 26: Sockel mit ABB IRB 120 Roboter

Universal Robots UR3:

Laboreinsatzgebiet: Dieser Roboter wird durch seine geringe Reichweite und niedrige Traglast sowie durch seine hohe Präzision als kollaborativer Roboter

eingesetzt. Aufgrund der Interaktion mit dem Menschen, liegen seine Stärken in der Montage leichter Produkte und in der Qualitätskontrolle. Der UR3 ist auf einem Tisch montiert und benötigt als Cobot keinen Sicherheitskäfig.

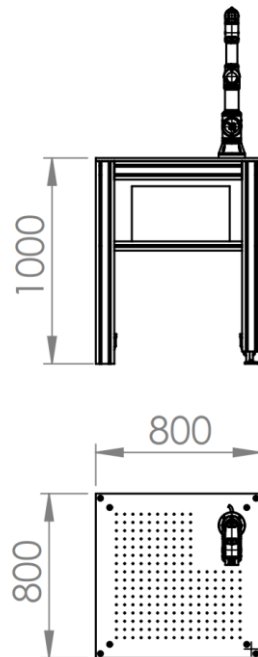


Abbildung 27: Tisch mit UR3 Roboter

Universal Robots UR10:

Laboreinsatzgebiet: Der UR10 besitzt wie sein kleiner Bruder UR3 eine hohe Präzision, hat jedoch eine weitere Reichweite und besitzt eine höhere Traglast. Er wird im Labor vor allem für Verpackungsaufgaben, Montage sowie pick and place Operationen verwendet. Auch er ist ein kollaborativer Roboter und ist auf einem Sockel montiert mit denselben Abmessungen wie der Sockel des ABB IRB 120. Als Cobot braucht der UR10 ebenfalls keine Sicherheitsvorkehrungen.

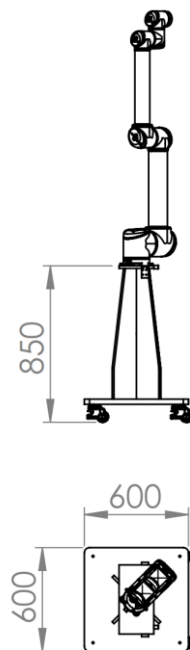


Abbildung 28: Sockel mit UR10 Roboter

Kuka KMR iiwa:

Laboreinsatzgebiet: Seine Anwendung im Labor ist eine Art Assistent für die Produktion, da er ortsunabhängig agieren kann und an keinen Arbeitsplatz gebunden ist. Auch er muss eine Schnittstelle mit den anderen Robotern bzw. mit dem Transfersystem haben.

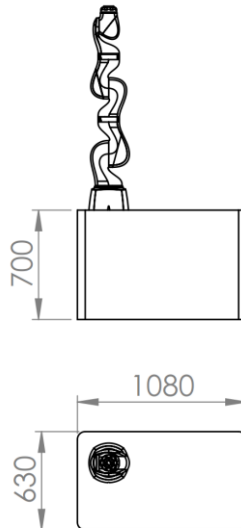


Abbildung 29: Kuka KMR iiwa Roboter

- Eine weitere wichtige Voraussetzung ist die Integration einer manuellen Montagestation. Dabei sollte es möglich sein, falls von dem Produktionsablauf eines Produktes vorgesehen, eine manuelle Station direkt in die Verkettung bzw. in das Transfersystem einzubinden. Deshalb muss das Transfersystem die Möglichkeit bieten, das Produkt oder gegeben falls den Werkstückträger zu positionieren und fixieren sodass eine manuelle Operation ausgeführt werden kann. Dazu muss auch der Platz vorgesehen werden für die Materialbereitstellung.
- Eine zusätzliche wichtige Anforderung ist die Einbindung einer hybriden Montagestation mit dem kollaborativen Roboter UR3. Dabei bleibt der Roboter auf dem bereits vorhanden Tisch montiert. Dieser Tisch verfügt über Räder und kann so ziemlich einfach verstellt werden. Da der UR3 auch noch für andere Zwecke verwendet wird, ist die Voraussetzung das er einfach integriert und wieder entnommen werden kann. Eine mögliche Lösung wäre ein Bypass-System und im dadurch entstehenden Zwischenraum kann der Roboter samt Tisch hinein und heraus geschoben werden.

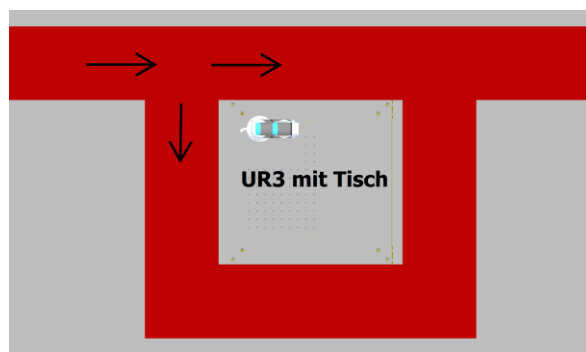


Abbildung 30: Skizze für Bypass-System mit UR3

- Für jede Station sollte ein ausreichender Bereich vorgesehen werden für die mögliche Materialbereitstellung.

- Im Labor befinden sich vier Stück Montagetische von Bosch Rexroth. Eine Anforderung ist die Verbindung dieser manuellen Montagestationen mit dem automatischen Transfersystem. Es genügt auch diese Verkettung mittels Kuka KMR iiwa herzustellen. Die vorhandenen Montagetische sollten möglichst wie in der Ausgangslage bleiben.
- Das Smart Mini Factory Labor hat eine Gesamtfläche von circa 140 Quadratmeter. Von diesen 140 Quadratmeter stehen für die Umsetzung ungefähr 27 Quadratmeter zur Verfügung. Für die oben angeführten Punkte steht nur der Bereich A zur Verfügung, der Rest darf nicht verändert werden. Zudem ist darauf zu Achten, dass der Eingang frei bleibt. Der Platz zwischen den Bereichen A und B sollte ausreichend für die dementsprechende Sicherheit sein. Außerdem muss der Kuka KMR iiwa genügend Freiraum haben, um sich zwischen Bereich A und Bereich D zu bewegen.

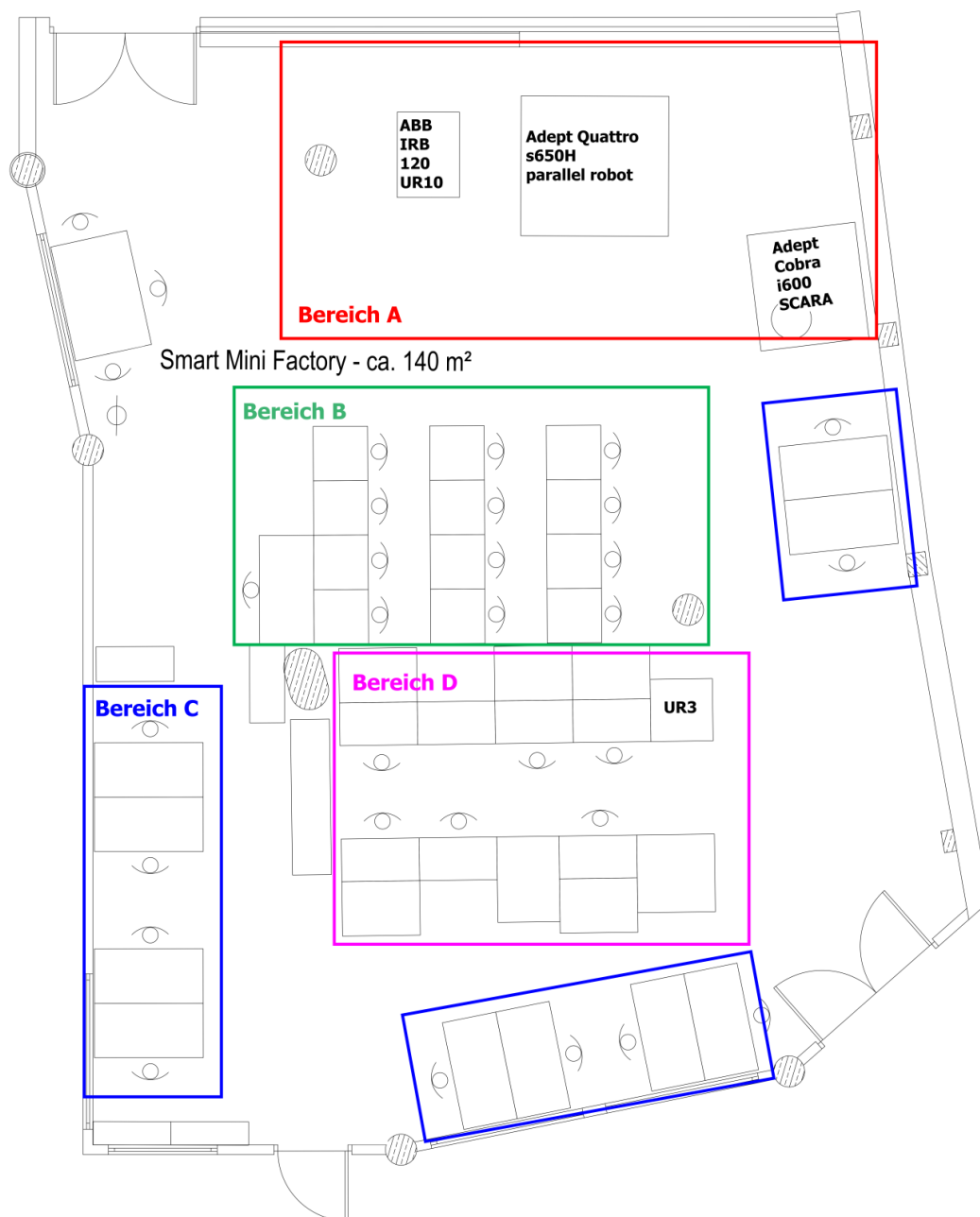


Abbildung 31: SMF-Laborplan mit den verschiedenen Bereichen

- Das System für die flexible Verkettung der einzelnen Montagestationen muss die Stationen so verbinden, dass ein manuelles Fördern zwischen keiner Station notwendig ist.
- Das System soll voll automatisiert sein und die entsprechenden IT Schnittstellen für die Kommunikation zwischen Roboter und Transfersystem vorweisen.
- Da nicht immer das gleiche Produkt montiert wird, sollte das Transfersystem nicht direkt das Produkt fördern, sondern einen Werkstückträger transportieren. Dies hat den Vorteil, dass das System flexibel auch für geometrisch Abweichende Werkstücke und unterschiedlichen Masse verwendet werden kann.
- Mögliche Ausstattung des Werkstückträgers mit einem RFID Chip. Da dieser Chip Produkt- und Produktionsdaten speichern kann und diese Daten ausgelesen werden können trägt dies wesentlich zu dem Thema Industrie 4.0 bei.
- Eine andere Anforderung an das Transfersystem sind mögliche Pufferzonen vor den Montagestationen. Der Grund dafür ist, dass nicht immer dasselbe Produkt montiert wird und es dadurch schwierig ist die Stationen auszutakten und dadurch jede Station immer nur so schnell ist wie die langsamste Station. Deshalb ist es wichtig das Pufferzonen vorliegen, sodass das Transfersystem flexibel ist. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines Systems, in welchem die Werkstückträger einzeln ansteuerbar sind, somit ergeben sich automatisch Pufferzonen.
- Das Transfersystem muss in der Lage sein eine Zuladung bis 14 kg je Werkstückträger zu gewährleisten. Grund dafür ist die maximale Nutzlast der Roboter, diese liegt bei maximal 14 kg.
- Der Werkstückträger sollte für Produkte mit einer Grundfläche von mindestens 300x300 mm anwendbar sein. Dabei sollte es möglich sein verschiedene Werkstückhalter auf dem Werkstückträger zu montieren. Falls kleinere Werkstücke transportiert werden, können auch mehrere gleichzeitig auf einer Trägerplatte befestigt sein.
- Die Höhe des Transfersystem muss circa 1 Meter haben, aus ergonomischen Gründen für die manuelle und hybride Montagestation. Gegeben falls, wenn dies nicht eingehalten werden kann, muss dafür eine Hebe-Senkvorrichtung vorgesehen werden damit die ergonomischen Anforderungen eingehalten werden können. Dabei ist auch darauf zu achten ob mit den vorhandenen Tischen der verschiedenen Roboter eine einheitliche Höhe eingehalten werden kann.
- Das Transfersystem muss alle technischen Sicherheitsmaßnahmen für einen regulären Betrieb vorweisen.
- Das Transfersystem muss modular erweiterbar sein mit allen möglichen Modulen wie Kurven, Kreuzungen, Hebe-Senkvorrichtungen und geraden Strecken für einen späteren Ausbau des Produktionslinie.
- Das Transfersystem sollte ziemlich kompakt sein, dass es an die Vorgaben der Räumlichkeit angepasst werden kann.
- Wenn möglich, sollte der Werkstückträger oder Shuttle eine Stromzufuhr haben für mögliche Kontrollmessungen oder Bearbeitungen bereits während der Fahrt zwischen den Stationen
- Wenn möglich kann der WT oder Shuttle auch mit Sensoren ausgestattet sein, um möglichen Hindernissen und anderen Shuttle zu erkennen und somit Kollisionen zu vermeiden.

Verschiedene Skizzen von Layouts:

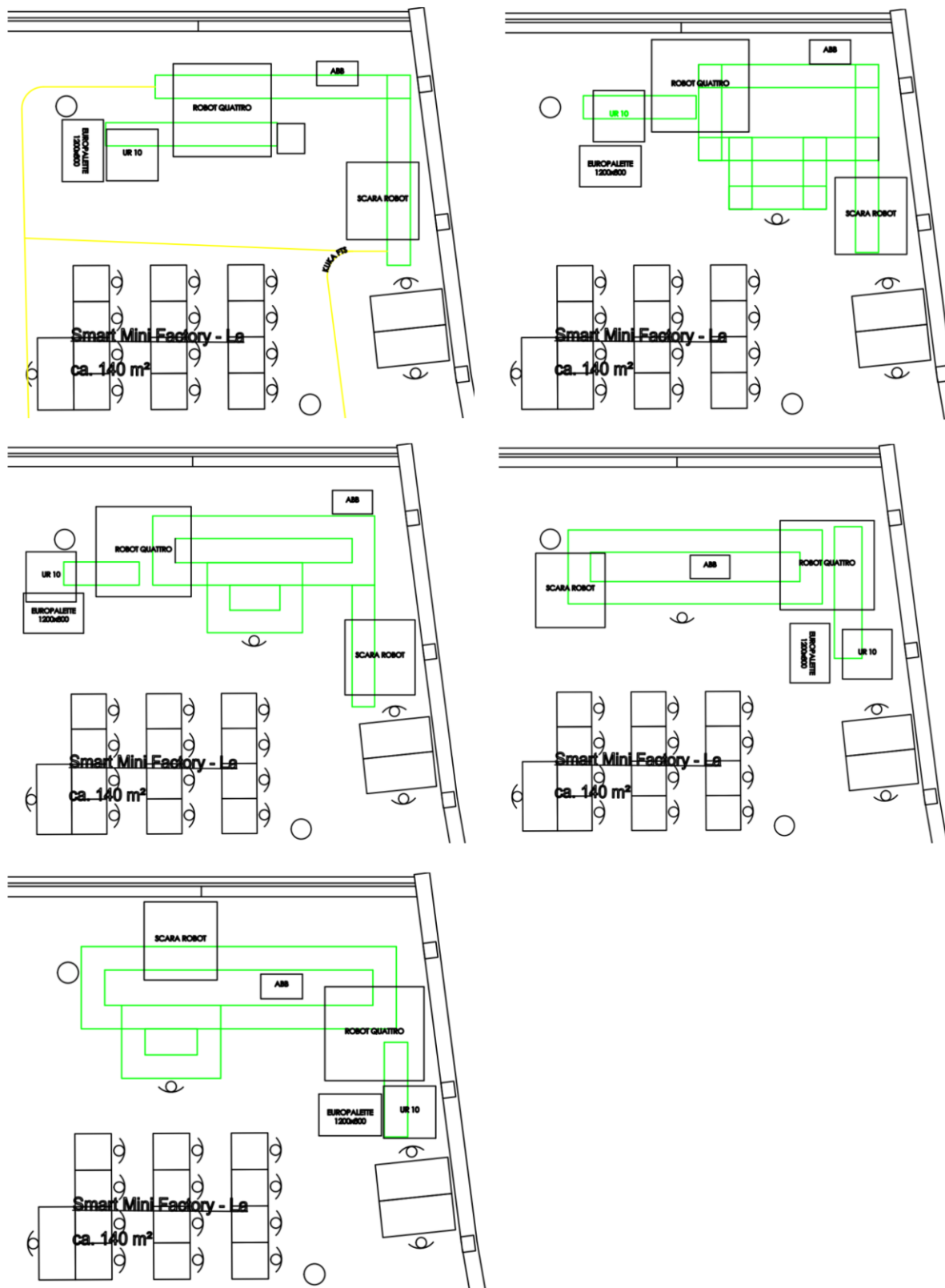


Abbildung 32: Verschiedene Skizzen von Layouts: Die in Farbe Grün eingezeichneten Striche symbolisieren das Transfersystem

3.3 Identifikation von Anbietern und technischen Lösungen auf dem Markt

Bei der Identifikation von Anbietern und dessen technischen Möglichkeiten konnten durch eine Marktrecherche im Internet folgende Anbieter festgestellt werden:

Bosch Rexroth:

Die Bosch Rexroth AG bietet verschiedene Produkte in der Montagetechnik an. Von einfachen Regalen und Gestellen aus Aluminium-Profilen bis hin zu ergonomischen Arbeitsstationen und vollautomatisierten Produktionslinien mit Transfersystemen wird alles angeboten. Dabei wird immer die Modularität der Systeme eingehalten. Im Bereich Transfersysteme verkauft Bosch Rexroth vollautomatisierten Systeme sowie teilautomatisierte Transfersysteme mit manuellen Arbeitsplätzen für kleine Losgrößen und eine hohe Variantenvielfalt (Bosch Rexroth, 2017). Bosch Rexroth hat folgende Transfersysteme:

- Transfersystem TS 1
- Transfersystem TS 2plus
- Transfersystem TS 2pv
- Transfersystem TS 5
- Linearmotorisches Transfersystem ActiveMover

Dabei wurde das Transfersystem TS 2 plus in die engere Auswahl genommen.

Funktionsprinzip Transfersystem TS 2plus:

Der Werkstückträger wird über zwei stetig umlaufenden Riemen durch die Haftreibung mitgeführt. Durch Vereinzeler wird der WT an der Station angehalten. Es lassen sich auch mehrerer Werkstückträger vor der Station aufstauen (Bosch Rexroth, 2017).

Eckdaten des Transfersystem TS 2plus (Bosch Rexroth, 2017):

- Transport von Werkstückträger
- Größe des Werkstückträger von 160x160 mm bis 1200x1200 mm
- Zuladung pro Werkstückträger je nach Größe 0-240 kg
- Verschieden Layouts mögliche: Karreebauweise, Linienbauweise, U-Form und jeweils mit Bypass-System ergänzbar
- Motorisierte Fördermedien als Zahnriemen, Gurt, Kunststoff-Flachplattenkette, Rollenkette oder Duplexkette
- Einsatztemperatur von 5°C bis 40°C
- Modular erweiterbar: Bahnstrecken Längstransport, Kurven, Quertransporten, Rollenstrecken, Positioniereinheiten und alles mit den dazu passenden Stützen
- Kombinierbar mit manuellen-hybriden Montagestationen
- Einsatz von RFID möglich



Abbildung 33: Bosch Rexroth Transfersystem TS 2plus (Bosch Rexroth, 2017)

Stein Automation:

Die Firma Stein Automation GmbH & Co KG hat sich auf Transfersysteme spezialisiert. Diese Transfersysteme zeichnen sich durch ihre Modularität, Kompaktheit und Verlässlichkeit aus (Stein Automation, 2014). Folgende Transfersysteme werden angeboten:

- STEIN 300
- STEIN 500

Dabei wurde das Transfersystem Stein 300 in die engere Auswahl genommen.

Funktionsprinzip Transfersystem STEIN 300:

Ähnlich wie bei Bosch Rexroths Transfersystem TS 2plus wird der Werkstückträger über zwei Riemen mitgeführt. Je nach Bedarf kann der WT angehalten, positioniert, und angehoben werden je nach Arbeitsprozess an der Station (Stein Automation, 2014).

Eckdaten des Transfersystem STEIN 300 (Stein Automation, 2014):

- Transport von Werkstückträger
- Größe Werkstückträger von 160x160 mm rasterfrei
- Zulässiges Gesamtgewicht WT und Produkt bis zu 20 kg
- Verschieden Grundformen von Layouts möglich mit Bypass-Systemen
- Motorisierte Fördermedien als Bandedelemente mit Riemen
- Modular erweiterbar mit Klappenelement, Querstrecken, geraden Bandedelementen, Kurven, Umsetzer, Wendeeinheiten, Zentriereinheiten, Liftstationen und Pufferlösungen. Jedes Modul ist mit den entsprechen Stützen ausgestattet.
- Kombinierbar mit manuellen-hybriden Montagestationen
- Einsatz von RFID möglich

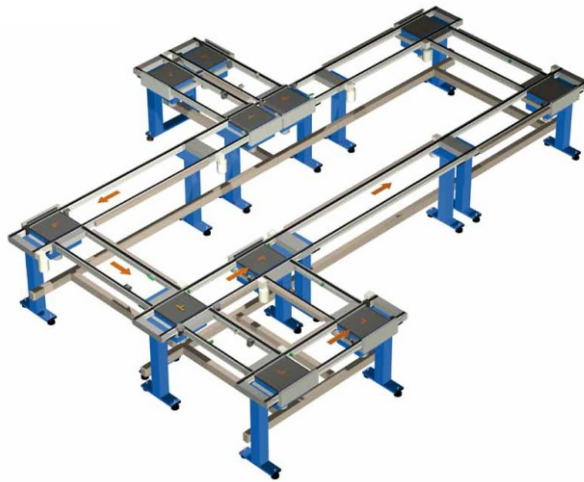


Abbildung 34: Stein Automation Transfersystem Stein 300 (Stein Automation, 2014)

Montech:

Das Unternehmen Montech AG hat sich auf den Bereich Fördertechnik spezialisiert. Dabei liegen vor allem Förderbänder und Transportsysteme im Fokus (Montech, 2018). Bei den Transportsystemen hat die Firma Montech zwei Produkte im Sortiment:

- Transfersystem LT40
- Längstransfersystem LTE

Dabei wurde das Transfersystem LT40 in die engere Auswahl genommen.

Funktionsprinzip Transfersystem LT40:

Beim Transfersystem handelt es sich um ein Doppelzahnriemen System, auf dem der Werkstückträger gefördert wird. In den Stationen kann der Werkstückträger gestoppt werden und wenn nötig positioniert und festgehalten werden (Montech, 2018).

Eckdaten des Transfersystem LT40 (Montech, 2018):

- Transport von Werkstückträger
- Größe Werkstückträger von 200x200 mm, 200x240 mm, 240x240 mm, 240x320 mm, 320x320 mm, 320x480 mm
- Maximale Zuladung bis zu 16,8 kg je WT Größe
- Verschieden Grundformen von Layouts möglich mit Bypass-Systemen
- Motorisierte Fördermedien als Doppelzahnriemen System
- Modular erweiterbar mit Querstrecken, geraden Bandelementen, Kurven, Ver-einzeler/Stopper, Positioniervorrichtungen mit bis zu 1000 Newton Stützkraft, Hub- und Dreheinheiten sowie Liftmodule. Jedes Modul ist mit den entsprechen Stützen ausgestattet.
- Kombinierbar mit manuellen-hybriden Montagestationen
- Einsatz von RFID möglich



Abbildung 35: Montech Transfersystem LT40 (Montech, 2018)

Montratec:

Das Kerngeschäft der Montratec GmbH ist das Gebiet der Intralogistik. Das intelligente Automations- und Transportsystem montrac soll dabei Produktions- und Logistikprozesse Vernetzen. Es zeichnet sich durch hohe Flexibilität, Zuverlässigkeit und Effizienz aus (Montratec, 2017).

Funktionsprinzip Transportsystem montrac:

Das montrac Transportsystem funktioniert anders als die drei zuvor genannten Systeme nicht mit Gurten, welche den Werkstückträger fördern, sondern der Werkstückträger oder das sogenannte Shuttle besitzt selbst einen Elektromotor beziehungsweise Antriebseinheit und wird über die Schienen mit elektrischem Strom versorgt. So ist es möglich die Shuttles einzeln zu steuern und dadurch sind Pufferzonen überflüssig. Montrac bietet die Möglichkeit die Shuttles autonom agieren zu lassen, indem Identitätsmerkmale mit Steuerbefehlen verknüpft werden. Dadurch wird die Leitsteuerung entlastet und kann sich auf die Bearbeitungsprozesse in den Montagestationen konzentrieren (Montratec, 2017).

Eckdaten des Transportsystem montrac (Montratec, 2017):

- Transport von Shuttles mit Werkstückträgerplatten
- Größe Werkstückträgerplatten von 200x300 mm, 200x400 mm, 300x400 mm, 200x550 mm, 300x500 mm
- Maximale Gesamtgewicht bis zu 38 kg je nach Shuttle
- Verschieden Grundformen von Layouts möglich mit Bypass-Systemen
- Shuttle einzeln ansteuerbar, Linearmotorentchnik
- Modular erweiterbar mit Querstrecken, geraden Banelementen, Kurven, Weichen, Positioniervorrichtung, Klappmodulen und Liftmodule. Jedes Modul ist mit den entsprechen Stützen ausgestattet.
- Kombinierbar mit manuellen-hybriden Montagestationen



Abbildung 36: Montratec Transportsystem montec (Montratec, 2017)

4 Technische Auslegung und Planung der favorisierten Varianten

Für die Auslegung und Planung wurden zwei Anbieter mit zwei unterschiedlichen Transfersystemen ausgesucht. Ein Anbieter ist Bosch Rexroth mit dem Transfersystem TS 2plus. Das Transfersystem TS 2plus befördert über zwei umlaufende Riemen den Werkstückträger. Das zweite Unternehmen ist Montratec mit dem Transportsystem montrac. Bei diesem System befindet sich der Werkstückträger auf einem Shuttle. Anders als beim Transfersystem TS 2plus, hat beim montrac-System jedes Shuttle eine eigene Antriebseinheit. Dabei dient die Führungsschiene zugleich als Stromschiene. Durch verschiedene Komponenten und Module werden die Vorgaben vom Layout erfüllt.

4.1 Technische Auslegung mittels Werkstückträger-Transfersystem TS2 von Bosch

Das Transfersystem TS 2plus von der Firma Bosch Rexroth dient zur flexiblen Verketten der einzelnen Stationen. Je nach Größe und Gewicht der Werkstücke kann der passende Werkstückträger und das entsprechende Fördermedium ausgewählt werden. Dabei wird der Werkstückträger von Station zu Station befördert mittels zwei stetig umlaufender Riemen oder Ketten. Um jede Station einzubinden, werden verschiedene Module zusammengesetzt. Dabei sind auch Ausschleusungen möglich, um Bypass-Systeme zu realisieren, sowie Pufferzonen für mehr Flexibilität. Der Werkstückträger kann dabei in den Stationen angehalten und je nach Bedarf für die Montage positioniert und festgehalten werden.

4.1.1 Übersicht TS2 von Bosch

Das Transfersystem TS 2plus befördert in einer Montagelinie die Werkstücke von Station zu Station. Dabei werden die Werkstückträger über die Reibung von zwei stetig umlaufenden Gurten, Zahnriemen, Flachplattenketten, Staurollenketten oder Rundriemen mitgenommen. Am Werkstückträger werden die Werkstücke befestigt. Die Bearbeitungen der Produkte bei den Stationen werden auf dem WT durchgeführt. Zudem können Datenspeicher am Werkstückträger integriert werden, welche Ziele und Bearbeitungszustände mitführen. An den Handarbeitsplätzen und Automatikstationen wird der WT dann vom Vereinzeler angehalten während das Fördermedium weiterläuft. Dadurch ist das Aufstauen von mehreren Werkstückträger vor den einzelnen Stationen möglich und es bilden sich sogenannte Puffer. Sobald der Arbeitsgang an der Station fertig ist wird der Transport zur nächsten Arbeitsstation freigegeben. Das Öffnen des pneumatischen Vereinzeler erfolgt dabei manuell oder von der Stationssteuerung. Nachdem das Werkstück alle Stationen durchlaufen hat, wird das fertige Produkt am Ende vom Werkstückträger entnommen (Bosch Rexroth, 2017).

Das Transfersystem TS 2plus bietet standardisierte Baueinheiten, welche sich vielseitig kombinieren lassen. Dadurch ist es möglich, eine Vielzahl an Varianten für die maßgeschneiderte Anlage zu erstellen und die gewünschten Anforderungen einzuhalten.

Das Transfersystem besitzt eine hohe Modularität und kann somit je nach Gebrauch erweitert werden oder für zukünftige Montagelinien hergenommen werden (Bosch Rexroth, 2017).

Es handelt sich dabei um eine Vielzahl an Baukastenelementen, mit welchen es möglich ist eine Menge an Layouts zu realisieren (Bosch Rexroth, 2017):

- Vier kombinierbare Fördermedien je nach Anforderung des Montageprozesses (Polyamid-Gurt, Zahnriemen, Flachplattenkette und Staurollenkette)
- Werkstückträgergröße je nach Produktgröße (160x160 mm bis 1200x1200 mm)
- Maximalbelastung von bis zu 240 kg pro Werkstückträger

Bosch Rexroth teilt das Funktionsprinzip wie folgt ein (Bosch Rexroth, 2017):

1. Systemwahl:

Es ist wichtig das richtige System zu wählen, um eine möglichst wirtschaftliche Produktion zu erhalten. Auch sollte das nachträgliche Umrüsten einfach und kostengünstig sowie effizient möglich sein, um zukünftige Marktanforderungen bewältigen zu können. Bei der Wahl spielt das Gewicht, Beschaffenheit der Werkstücke und Produktionsumgebung eine Rolle. Das Bosch Rexroth TS 2plus Transfersystem bietet eine Fülle von spezifischen Bauelementen für Kurven, Quertransport, Positionier- und Antriebseinheiten. Die Baueinheiten und Makromodule sind untereinander kompatibel und lassen sich mit manuellen und automatischen Montagestationen ausstatten. Höchste Positioniergenauigkeit oder das Fördern besonders schwerer Werkstücke können einfach mit Standardkomponenten realisiert werden.

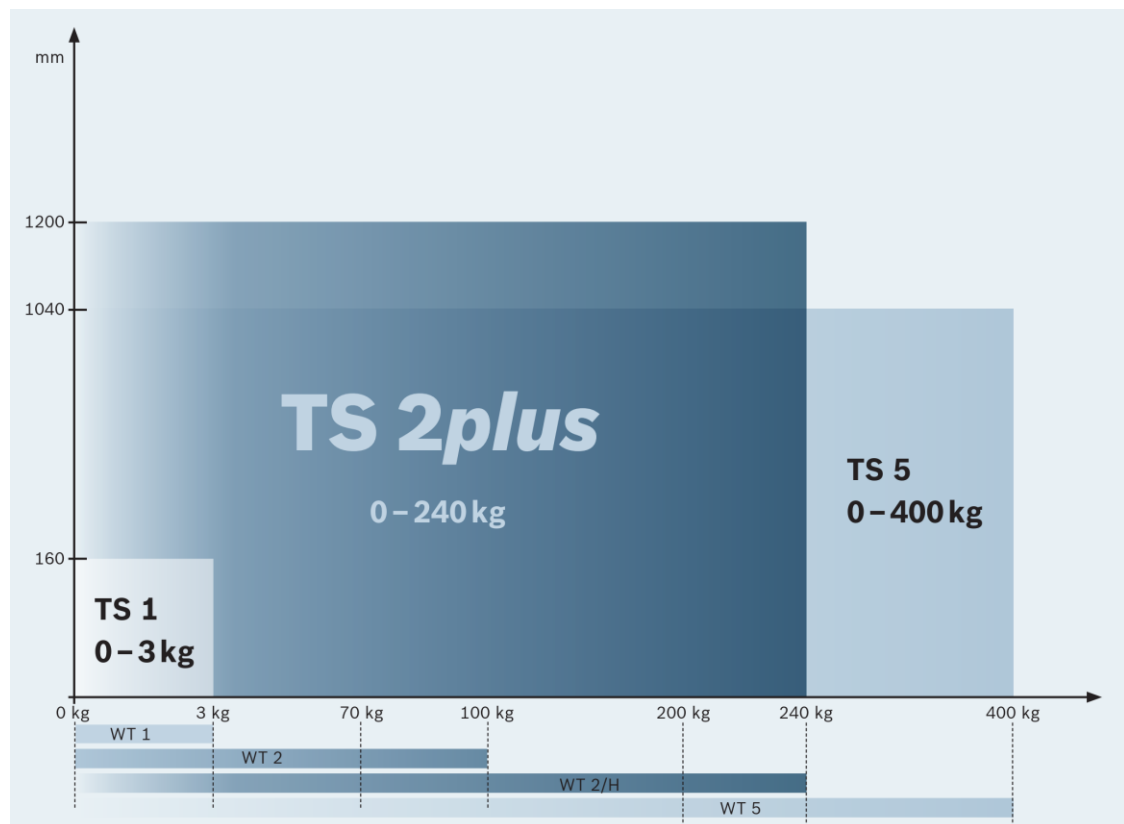


Abbildung 37: Vergleich Transfersysteme (Bosch Rexroth, 2017)

2. Transportiertes Produkt:

Der Werkstückträger dient dazu das Werkstück auf dem Transfersystem von Fertigungs-/ Montagestation zu Fertigungs-/ Montagestation zu transportieren. Dabei bietet das Transfersystem TS 2plus verschiedene Ausführungen des Werkstückträgers an. Für den Transport und die Positionierung leichter Lasten, gibt es den komplett aus Kunststoff gefertigten WT 2/E Werkstückträger. Für mittel bis schwere Werkstücke sind die Trägerplatten der Werkstückträger aus Aluminium oder Stahl gefertigt und dem Namen WT 2 und WT 2/H.

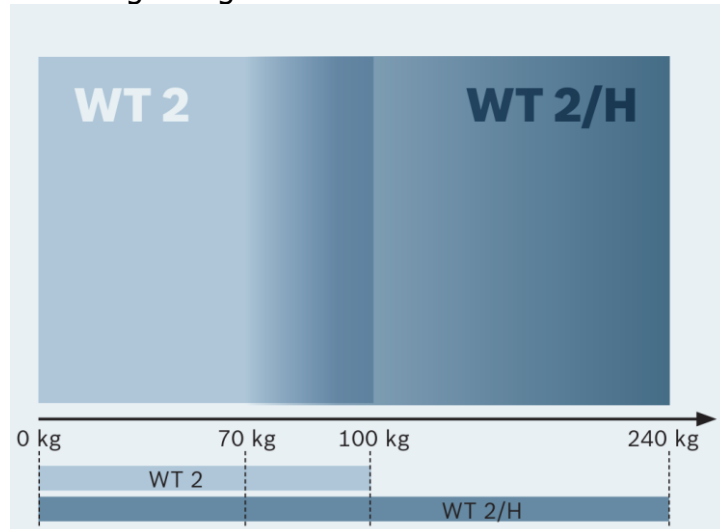


Abbildung 38: Zulässige Gesamtmasse der Werkstückträger WT 2 und WT 2/H (Bosch Rexroth, 2017)

3. Layoutplanung:

Bei der Planung des Layouts für eine Produktionslinie müssen die Anforderungen des Lastenheftes eingehalten werden. Doch durch komplexe Montageabläufe sollte die Systemflexibilität nicht eingeschränkt werden. Die Systemflexibilität wird erforderlich durch häufiges Umrüsten, variantenabhängige Abtaktungsprobleme, unterschiedliche Arbeitsinhalte in den Stationen, Erzeugnisänderungen und starke Stückzahlenschwankungen. Deshalb bietet das Transfersystem TS 2plus ein Ausschleusen der Werkstückträger aus dem Hauptumlauf in sogenannten Nebenschlussplätzen an. Diese können taktunabhängig gestaltet werden. Die Werkstücke können dann dort bearbeitet werden und wieder in den Hauptschluss eingeschleust werden.

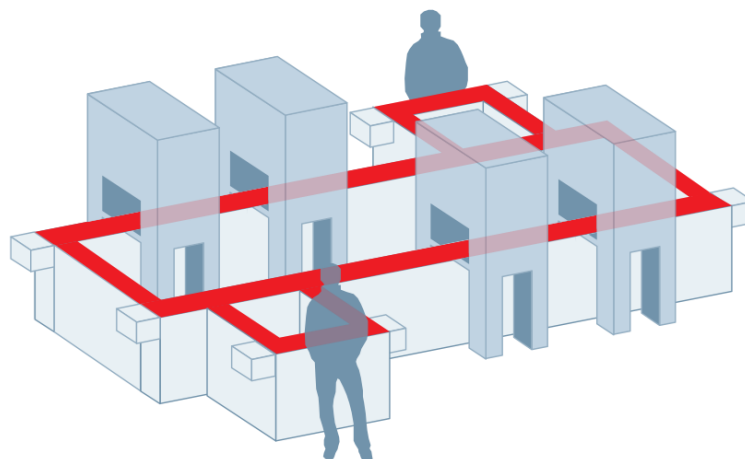


Abbildung 39: Beispiel für ein Layout mit Nebenschlussplätzen (Bosch Rexroth, 2017)

4. Fördermedien:

Die Tragfähigkeit eines Werkstückträgers ergibt sich aus der Kombination der Laufsohle, Gleitprofil, Fördermedium und Auflagelänge auf dem Fördermedium. Dabei ist darauf zu achten, dass die Summe der Gesamtmassen aller Werkstückträger, die sich zur selben Zeit auf einer Förderstrecke befinden, kleiner ist, als die zulässige Streckenbelastung der Förderstrecke. Ansonsten muss die Förderstrecke in mehrere Einzelstrecken unterteilt werden.

Fördermedium	Standard-Laufsohle				Spezial-Laufsohle			
	PA				PE	Vplus	St	
Stahl-Gleitprofil			1,5 kg 1 cm		1,5 kg 1 cm	1,5 kg 1 cm	2,0 kg 1 cm	
Kunststoff-Gleitprofil	1,0 kg 1 cm	1,0 kg 1 cm	1,0 kg 1 cm	1,0 kg 1 cm	1,0 kg 1 cm	1,5 kg 1 cm	1,5 kg 1 cm	2,0 kg 1 cm


 Spezifische Streckenlast/cm = Gesamtmasse WT/Auflagelänge

Abbildung 40: Zulässige Streckenlasten pro Centimeter (Bosch Rexroth, 2017)

5. Kombination von Fördermedien, Gleitprofilen und Komponenten:

Die Kombination von Fördermedium, Gleitprofil und Komponente hängt je nach Gewichtsklasse der zu fördernden Werkstücke hängt ab.

6. Umgebungsbedingungen:

Das Bosch Rexroth Transfersystem TS 2plus wird aus hochwertigen Materialien hergestellt und ist beständig gegen normale Industrieumgebung sowie den üblicherweise vorkommenden Schmier- und Pflegemittel. Das System ist vorgesehen für den Einsatz in wettergeschützten Bereichen. Bei Einsatztemperaturen von +5 bis +40 °C und -5 bis +60 °C mit 20 % reduzierter Belastung kann das System eingesetzt werden. Zudem kann die relative Luftfeuchtigkeit von 5 bis 85 % liegen, nicht betauend. Da fast alle Komponenten leitfähig sind oder in leitfähiger Ausführung erhältlich sind können sie auch in elektrostatisch gefährdeten Bereichen eingesetzt werden. Wenn durch Arbeitsstationen Öl auf das Transfersystem gelangen kann, sollten Ketten als Fördermedium verwendet werden. Auch der Einsatz in Trockenräumen mit 1 bis 2 % Luftfeuchtigkeit ist möglich. Bei der Verwendung in Reinräumen können fast alle Komponente verbaut werden, bei bestimmten Komponenten kann es sich jedoch um besondere Modifikationen handeln.

4 – Technische Auslegung und Planung der favorisierten Varianten

Übersicht einiger Komponenten des Transfersystem TS 2plus von Bosch Rexroth:



Abbildung 41: Einige Komponenten des Transfersystems TS 2plus (Bosch Rexroth, 2017)

4.1.2 3D Modellierung und technische Auslegung des TS2 Systems für das Smart Mini Factory Labor

Für die Umsetzung des Transfersystem TS 2plus zur flexiblen Verkettung wurden Zeichnungen und Bilder angefertigt:

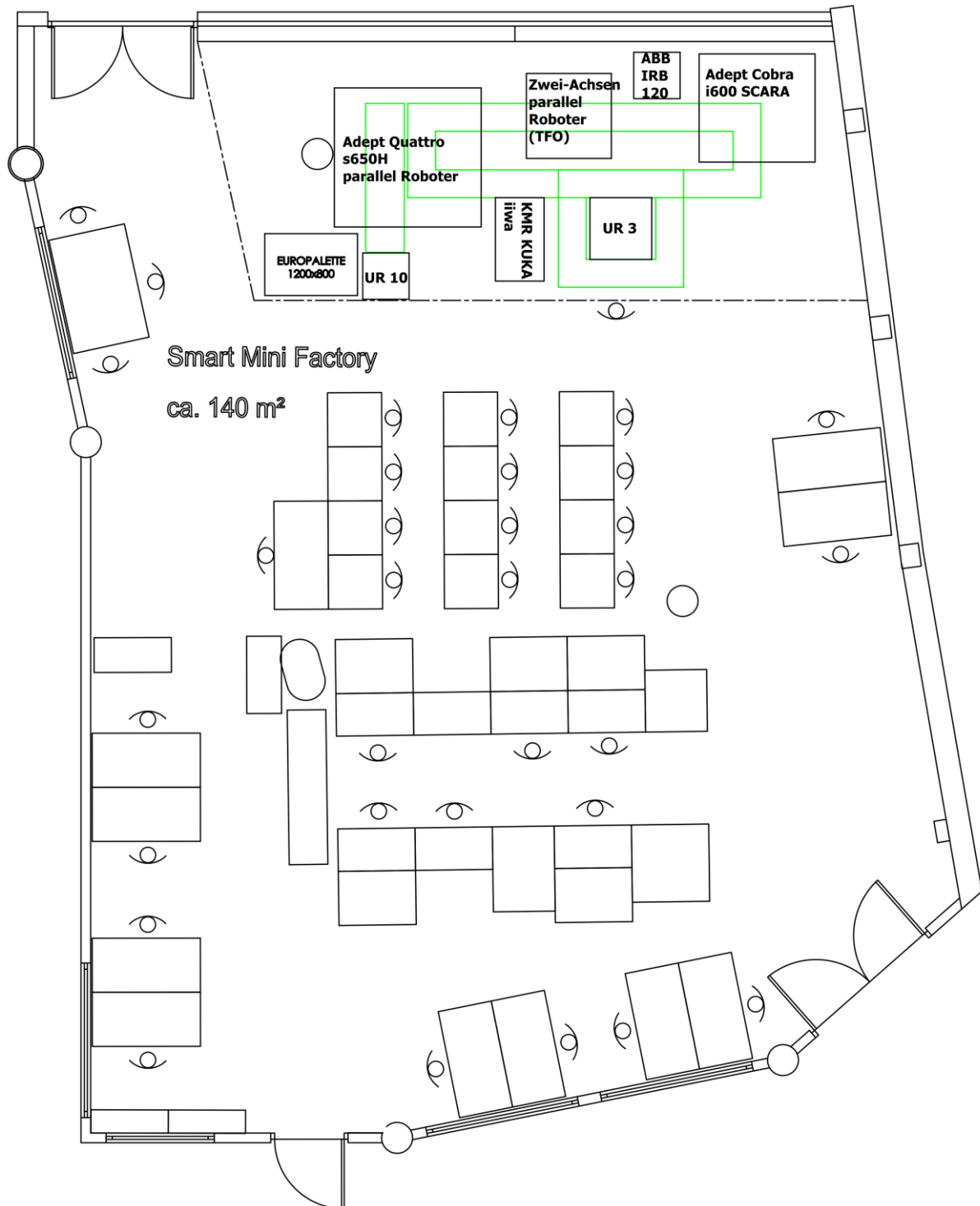


Abbildung 42: Finales Layout für Bosch Rexroth TS 2plus Transfersystem, grün symbolisiert das Transfersystem

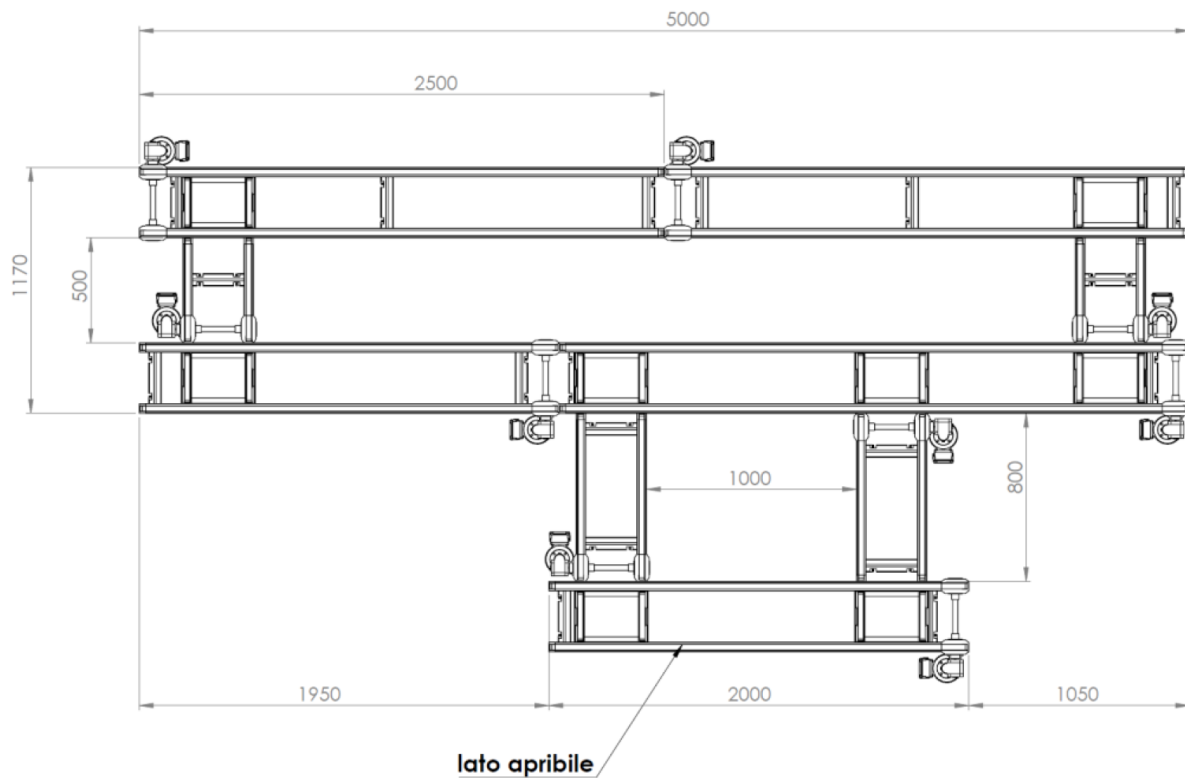


Abbildung 43: Transfersystem TS 2plus im SMF-Layout (Bosch Rexroth d, 2018)

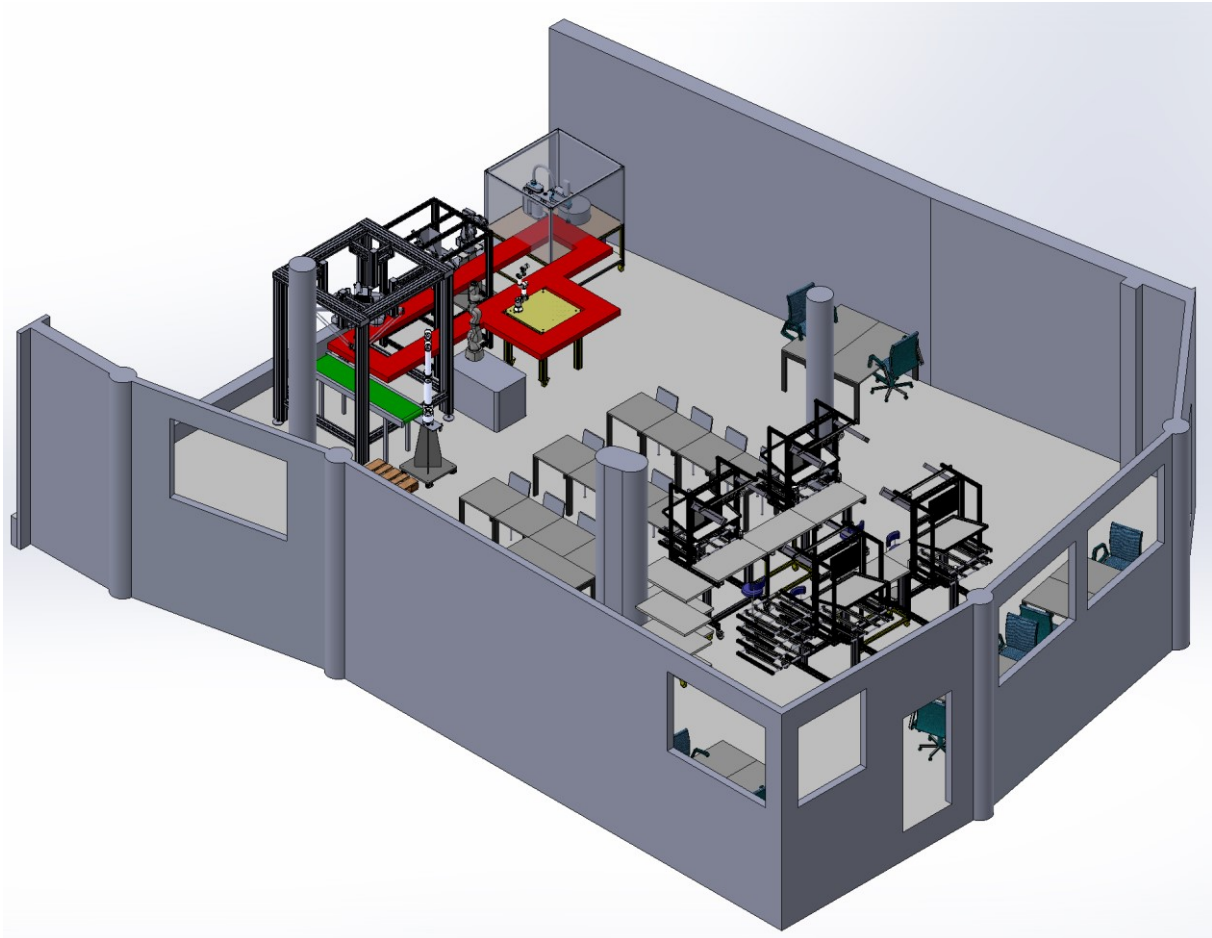


Abbildung 44: 3D-Ansicht 1: Smart Mini Factory Labor mit TS 2plus Transfersystem von Bosch Rexroth

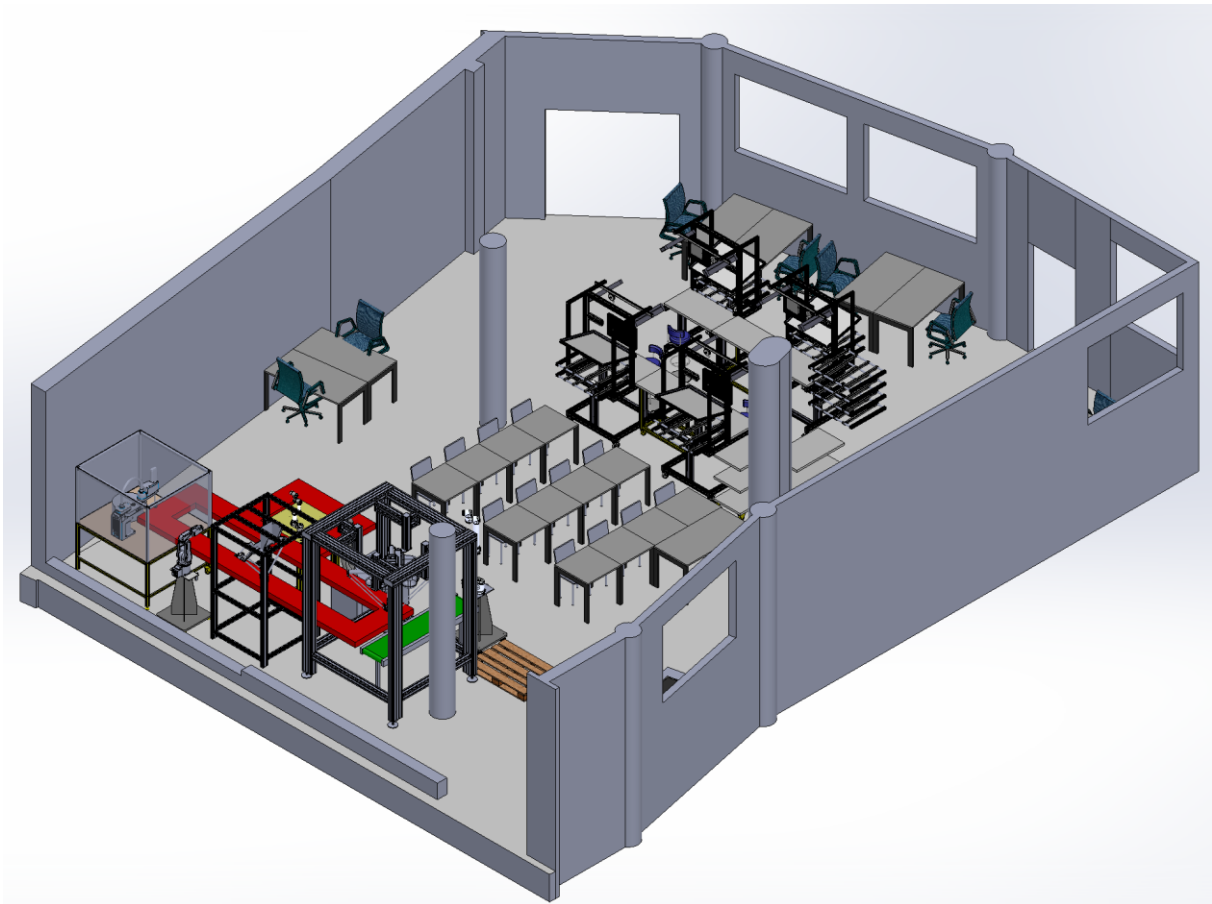


Abbildung 45: 3D-Ansicht 2: Smart Mini Factory Labor mit TS 2plus Transfersystem von Bosch Rexroth

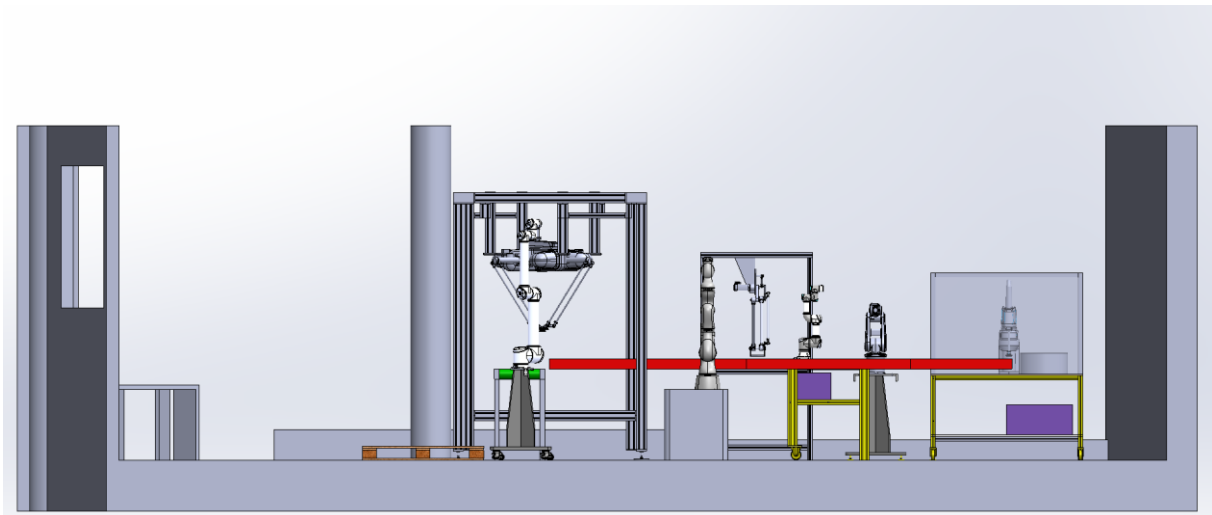


Abbildung 46: Schnittansicht: Smart Mini Factory Labor mit TS 2plus Transfersystem von Bosch Rexroth

4.1.3 Integrationskonzept der Maschinen, Roboter und Arbeitsplätze

Das Konzept sieht vor alle Roboter sowie die manuellen Montageteische von Bosch Rexroth zu integrieren und flexibel zu verketteten.

Bosch Rexroth Montageteische und Kuka KMR iiwa:

Die manuellen Arbeitsplätze von Bosch Rexroth bleiben in dem Bereich des Labors wo sie zurzeit aufgebaut sind. Um diese Arbeitsplätze in das Konzept zu integrieren, wird der Kuka KMR iiwa Roboter verwendet. Dabei befinden sich im Bereich der manuellen Stationen bestimmte Vorrichtungen, welche der Kuka KMR iiwa ansteuert. Auf diesen Vorrichtungen befindet sich das Produkt, welches der Roboter selbst mit dem Roboterarm LBR iiwa aufnimmt und auf die Mobile Plattform lädt. Dabei muss der Roboter immer dieselbe Stelle anfahren, sodass der Roboterarm immer an der gleichen Position zugreift. Das heißt, die Position der Vorrichtung darf nicht verändert werden und der Roboter Kuka KMR iiwa muss eine bestimmte Positioniergenauigkeit aufweisen. Sobald er sich das Werkstück von den manuellen Arbeitsplätzen abgeholt hat, fährt er über einen einprogrammierten Weg zu dem Bereich, in dem das automatisierte Transfersystem sich befindet. Im Transfersystem sind ein oder zwei Docking-Stationen vorgesehen, welche der Roboter anfährt. Auch hier muss die Positioniergenauigkeit passen. Der Roboterarm hat wieder die Aufgabe das Werkstück von der mobilen Plattform auf den Werkstückträger des Transfersystems zu geben. Dabei besitzt der Werkstückträger die passende Haltevorrichtung, um das Produkt aufzunehmen.

Universal Robot UR3:

Bei der flexiblen Verkettung der vorhandenen Roboter, wird der kollaborative Roboter so integriert, dass er als automatisierte Station verwendet werden kann oder als hybrider Arbeitsplatz. Der UR3 Roboter von Universal Robots ist auf einen Tisch montiert, welcher durch Rollen verschoben werden kann. Zusammen mit dem Tisch wird der UR3 in das Transfersystem integriert. Dabei ist ein sogenannter Bypass vorgesehen. Das bedeutet, dass der Werkstückträger sowohl hinter dem Roboter vorbeifahren kann, oder der WT wird ausgeschleust und fährt vorne um den Tisch vorbei. Dadurch, dass der Roboter auch für andere Forschungen und Lehrzwecke verwendet wird, kann dieser von dem Bypass-System samt Tisch entnommen werden. Deshalb ist es vorgesehen, dass die Strecke des Transfersystems vorne am Roboter wie eine Schranke aufgeklappt und somit der Tisch samt Roboter herausgezogen werden kann. Wenn der Roboter im System integriert ist, kann er verschieden verwendet werden. Entweder erfüllt er die Aufgaben einer automatisierten Arbeitsstation oder er arbeitet als kollaborativer Roboter mit dem Menschen zusammen.

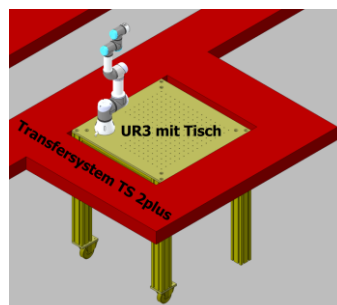


Abbildung 47: Bypass-System für den Roboter UR3 zum Herausnehmen im TS 2plus Transfersystem

Manuelle und Kollaborative Arbeitsstation:

Falls notwendig ist auch ein manueller Montageprozess möglich. Die manuelle Montagestation befindet sich am Bypass des Transfersystems. Dabei wird durch das Ausschleusen des Werkstückträgers aus dem Hauptschluss in einen Nebenschlussplatz eine gewisse Flexibilität erreicht. Der Werkstückträger wird bis zum Arbeitsplatz gefördert und dort durch eine Festhaltevorrückung an- und festgehalten und der Arbeiter kann seine Montage vornehmen. Nach beenden der vorgesehenen Arbeit kann der Arbeiter das Signal zur Freigabe geben und der Werkstückträger wird wieder automatisch in den Hauptschluss eingeschleust. Sollte der UR3 Roboter sich nicht im Freiraum des Bypasses befinden, kann dieser leere Platz für die Bereitstellung bestimmter Materialein, Pläne oder Werkzeuge für den Mitarbeiter genutzt werden. Wenn der kollaborative Roboter UR3 im System integriert ist, also sich im Freiraum des Bypasses befindet, kann diese Arbeitsstation als hybride Montagestation genutzt werden. Auch hier wird der Werkstückträger angehalten und eine gemeinsame Montage von Mensch-Maschine kann stattfinden. Durch die Freigabe schleust sich der WT wieder in den Hauptschluss ein und wird zu den nächsten Arbeitsstationen gefördert.



Abbildung 48: Bypass-System Bosch Rexroth (Bosch Rexroth, 2017)

Adept Cobra i600 SCARA:

Nach dem manuellen bzw. hybriden Arbeitsplatz fährt der Werkstückträger auf dem Hauptschluss zur nächsten Station. Dabei handelt es sich um eine automatisierte Montagestation mit dem Adept Cobra i600 SCARA Roboter. Dieser Roboter ist bereits auf einem Tisch montiert. Da es sich um keinen kollaborativen Roboter handelt, ist am Tisch eine Sicherheits-Einhausung aufgebaut. Damit das Transfersystem den Roboter passieren kann müssen bei der Einhausung zwei Öffnungen vorgesehen werden. Dabei werden zusätzliche Sicherheits-Lichtschranken nötig. Auf der Tischplatte sind auch noch ein Dreh-Vibrations-Zuführer und ein Kamerasystem montiert. Damit können lose Teile dementsprechend durchs vibrieren ausgerichtet werden. Diese erkennt das Kamerasystem und somit wird dem Roboter mitgeteilt welche Teile er greifen kann. Der Werkstückträger wird am Roboter durch den Vereinzeler aufgehalten und positioniert. Somit kann der Roboter den programmierten Montageschritt durchführen. Nach Beendigung des Prozesses wird der Werkstückträger freigegeben und wird zur nächsten Station befördert. Damit das Transfersystem auf einer Ebene, mit der Höhe 1000 mm, agieren kann, müssen die Tischbeine des Adept Cobra i600 SCARA Roboter gekürzt werden.

ABB IRB 120:

Nach der Station mit dem Adept Cobra i600 SCARA Roboter steuert der Werkstückträger die Station mit dem Roboter ABB IRB 120 an. Dieser Roboter ist auf einem Sockel

montiert. Er verfügt über keine Sicherheits-Einhausung, Sicherheits-Lichtschranksystem oder ähnliches. Außerdem handelt es sich beim ABB IRB 120 um keinen kollaborativen Roboter. Somit ist der Roboter im Layout so platziert, dass er vom Adept Cobra i600 SCARA, dem Transfersystem selbst und der Wand eingeschlossen ist. Dadurch braucht er nur von einer Seite mit einem Sicherheitssystem wie Tür, Lichtschranke oder ähnliches ausgestattet werden. In dieser Station wird ebenfalls der Werkstückträger mit dem Vereinzeler gestoppt und positioniert. Somit kann der ABB IRB 120 seinen Montagevorgang ausführen. Nachdem alle Vorgänge in dieser Station abgeschlossen sind, wird der WT vom Vereinzeler freigegeben und wird vom Transfersystem weitertransportiert.

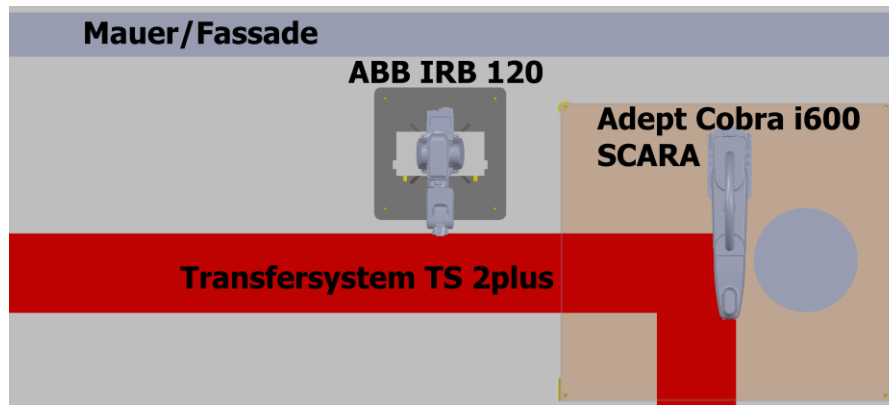


Abbildung 49: ABB IRB 120 auf drei Seiten eingeschlossen

Adept Quattro s650H parallel Roboter:

Nachdem der Werkstückträger die automatisierte Station mit dem ABB IRB 120 Roboter passiert hat, fördert das Transfersystem den WT zu der Station mit dem Adept Quattro s650H parallel Roboter. Dieser ist auf ein bestehendes Gerüst montiert. Da es sich auch beim Adept Quattro s650H parallel Roboter um keinen kollaborativen Roboter handelt befinden sich am Gerüst Sicherheitstüren. Diese Sicherheitsmaßnahmen müssen jedoch modifiziert werden, da das Transfersystem unter den Roboter vorbeigehen muss. Der Werkstückträger wird durch den Vereinzeler angehoben und somit kann der einprogrammierte Arbeitsprozess vom Roboter ausgeführt werden. Da diese Station für das Verpacken der Produkte verwendet werden kann, ist hier auch ein Transportband vorgesehen, welches die Verpackungsschachtel fördert. Der Adept Quattro s650H parallel Roboter hat somit die Aufgabe die fertig montierten Produkte vom Werkstückträger zu nehmen und in die bereitgestellte Box zu geben. Sobald der Werkstückträger leer ist, wird er vom System freigegeben und läuft die Produktionslinie von vorne durch. Die bepackte Box wird vom bestehenden Förderband zur nächsten Station transportiert.

Universal Robot UR10:

Der UR10 von Universal Robot ist der große Bruder des UR3. Beim UR10 handelt es sich ebenfalls um einen kollaborativen Roboter. Dadurch sind keine Sicherheitsmaßnahmen, wie Lichtschranken oder Schutzgitter, nötig. Der UR10 Roboter ist auf einem Sockel montiert, der dieselben Maße besitzt, wie der Sockel des ABB IRB 120. Im Layout ist der Roboter ziemlich nahe am Durchgang platziert, aber durch seine kollaborativen Eigenschaften ist das kein Problem. Seine Aufgabe in der Produktionslinie ist das

Palettieren der Boxen, welche vom Adept Quattro s650H parallel Roboter gefüllt wurden. Der UR10 Roboter befindet sich am Ende des Förderbandes. Die vom Förderband transportierten Boxen werden vom Roboter genommen und auf eine Palette gestockt.

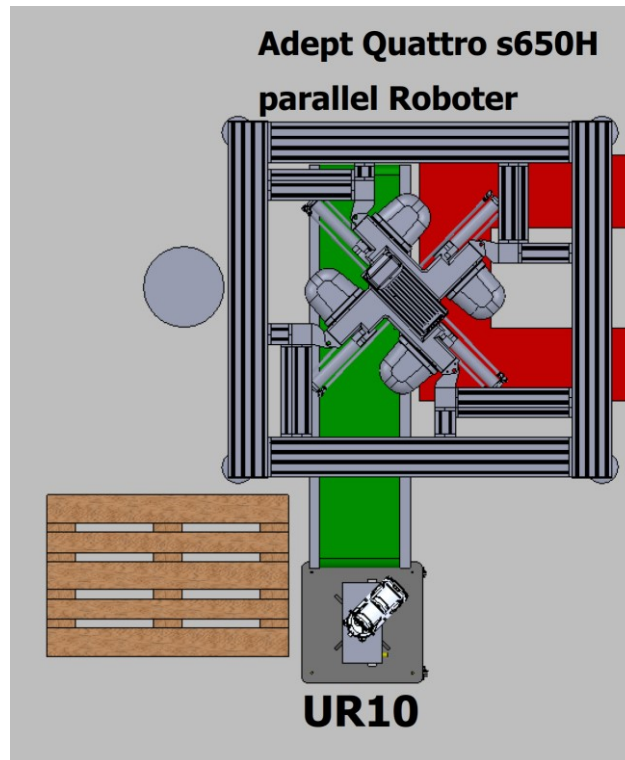


Abbildung 50: Adept Quattro s650H parallel Roboter und UR10

Zwei-Achsen parallel Roboter:

Dabei handelt es sich um einen zwei-Achsen parallel Roboter. Dieser ist auf ein Gerüst montiert. Er wird von der technologischen Fachoberschule (TFO) Max Valier Bozen zur Verfügung gestellt. Da der Roboter jedoch noch nicht bereitsteht, wird er später in das System integriert. Dabei ist sein Nutzen vor allem für Lehrzwecke bestimmt. Der Zwei-Achsen parallel Roboter ist somit in der Produktionslinie im Bereich zwischen dem ABB IRB 120 und dem Adept Quattro s650H parallel Roboter vorgesehen. Da es sich hier um keinen kollaborativen Roboter handelt, müssen dementsprechende Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden. Deshalb ist auch dieser Roboter, wie der ABB IRB 120, vom Transfersystem, Wand und ABB IRB 120 umgeben. Somit muss nur an einer Seite eine Sicherheitstür angebracht werden.

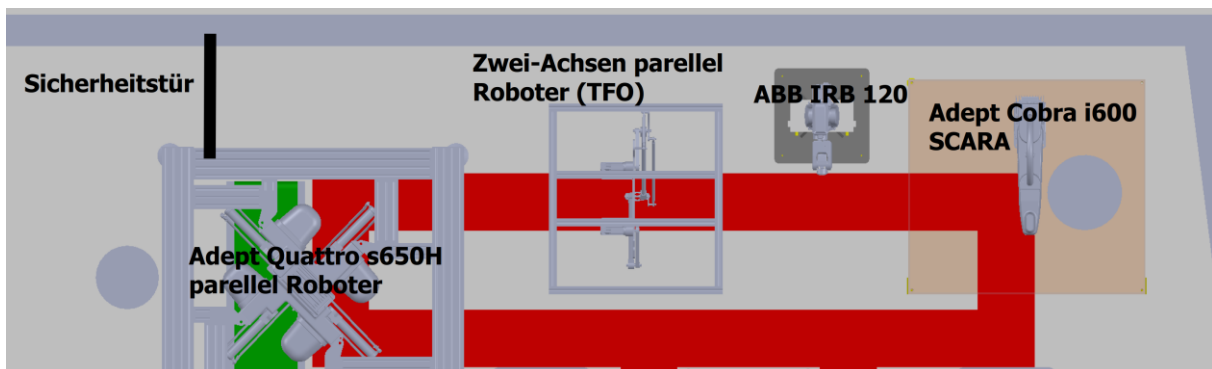


Abbildung 51: Layout mit Zwei-Achsen parallel Roboter und Sicherheitstür

4.2 Technische Auslegung mittels Shuttle-Transfersystem von Montratec

Das Transportsystem montrac von der Firma Montratec ist ein Monoschienens Transfersystem. Dabei fördern die Shuttles mit dem montieren Werkstückträger die Werkstücke von Station zu Station. Die Größe der Werkstückträgerplatte kann je nach Gewicht und Größe der Werkstücke ausgesucht werden. Der Antrieb befindet sich dabei auf den Shuttles. Das Shuttle ist zudem mit verschiedenen Sensoren ausgestattet und kann autonom auf Hindernisse und anderen Shuttles agieren. Durch die unterschiedlichen Weichen und Kreuzungen ist die vom Layout erforderliche Bahn für das Verbinden der Stationen umsetzbar. Auch ist die Integration der Roboter und manuellen Stationen durch verschiedene Module für Positionierung und Entkoppelung kein Problem.

4.2.1 Übersicht montrac von Montratec

Das Transportsystem montrac ist ein modulares Monoschienensystem. Es dient dazu innerbetriebliche Transportaufgaben und Montageprozesse effizient, schnell und intelligent zu meistern. Dabei werden Arbeitsplätze und Roboterstationen flexibel miteinander verkettet und somit ist es möglich ganze Fertigungslinien zu automatisieren, von Losgröße Eins bis hin zur Serienproduktion (Montratec, 2017).

Funktionsprinzip:

Auf einem Monoschienens-Umlaufsystem zirkulieren selbstfahrende, autonome Werkstückträger, genannt Shuttles. Die Shuttles werden von bürstenlosen Elektromotoren angetrieben, welche die erforderliche Energie aus den Stromleitern der Monoschienens beziehen. Durch eine integrierte Sensorik werden Staus, Hindernisse oder andere situationsbedingte Ereignisse sicher erkannt (Montratec, 2017).

Smart Logistic Technology:

Dabei handelt es sich um eine Technologie, welche ermöglicht, die Fahrstrecke des Transportsystem montrac unabhängig von der Leitsteuerung zu betreiben. Sie entstand durch die Möglichkeit Identitätsmerkmale mit Steuerbefehlen zu verknüpfen, um Streckenkomponenten autonom agieren zu lassen. Dadurch wird die Leitsteuerung von den zeitlich und funktional korrektem Aktivieren von Stellgliedern der Fahrtstrecke entlastet. Somit hat die Leitsteuerung die Möglichkeit sich auf den Stationen und deren Prozess zu konzentrieren. Die Prozessstationen erhalten im System eine fortlaufende Nummer. Nach diesen Nummern, funktionieren wie Adressen, orientiert sich das Shuttle im System. Dabei ist die Grundlage der Smart Logistic Technology, nach Fertigstellung des Arbeitsvorganges an einer Station, die Mitteilung der nächsten Zieladresse. Die mit der Technik konfigurierten Stellglieder reagieren autonom auf die Zieladresse und dadurch erreicht das Shuttle selbstständig die nächste Station. Die Kennung ist nichts anderes als die Identifikationsnummer, die jedem Shuttle zugewiesen ist. Die Anwesenheit eines Shuttles wird durch die Übermittlung einer Botschaft, welche Identifikationsnummer und Zieladresse enthält, gemeldet. Dieser Austausch von Informationen und Befehlen folgt über Infrarottechnik. Die Identifikation des Shuttles wird an jeder Anhalte-Position mitgeteilt und kann mit einer Entscheidung verknüpft werden. Diese intelligente Verknüpfung ist dafür zuständig, dass je nach Identifikationsnummer

und Zieladresse, welche auf dem Shuttle gespeichert sind, ein Shuttle an einer Kreuzung abzweigt und jedes anders adressierte Shuttle nicht (Montratec, 2017).

Komponenten:

Das Shuttle ist mit einer oder zwei Antriebsachsen erhältlich. Für den Antrieb sind wartungsfreie Niederspannungsmotoren zuständig. In den T-Nuten der Schienen können Nocken befestigt werden, welche dem Shuttle Geschwindigkeit und Stopp-Positionen vorgeben. Die maximale Geschwindigkeit liegt bei 55 Meter die Minute und die maximale Zuladung bei 30 kg. Zudem ist im Shuttle die erforderliche Sensorik integriert zum Erkennen von Hindernissen und anderen Shuttles. Auf dem Shuttle wird die Werkstückträgerplatte montiert. Dabei sind Größen von 200x300 mm, 200x400 mm, 300x400 mm, 200x550 mm und 300x550 mm erhältlich (Montratec, 2017).



Abbildung 52: Shuttle des montrac Transportsystems (Montratec, 2017)

Die Monoschienen, auch TRAC genannt, sind aus Aluminium gefertigt. Die Oberfläche ist farblos eloxiert. Die Führungsschienen besitzen Kanäle für die Stromschienen, welche sowohl links oder rechts montiert werden können und somit flexibel sind. Längen bis 2960 mm erhältlich (Montratec, 2017).

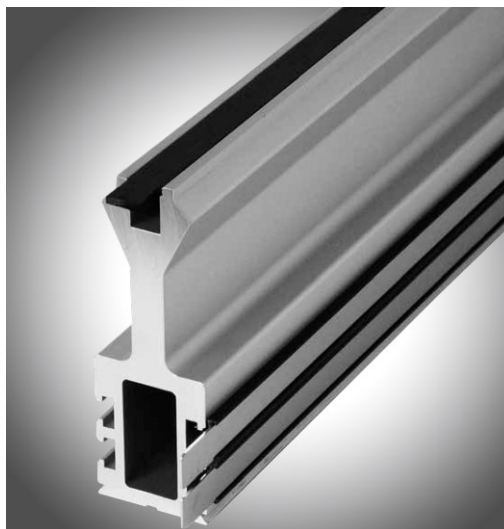


Abbildung 53: Monoschiene des montrac Transportsystems (Montratec, 2017)

Kurven haben dasselbe Querschnittsprofil wie die Monoschienen und ermöglichen dadurch einen ruhigen Übergang. Es sind Richtungsänderungen von 45° oder 90°

möglich. Die Kurvenmodule sind mit 220 mm oder 520 mm Radius erhältlich (Montratec, 2017).

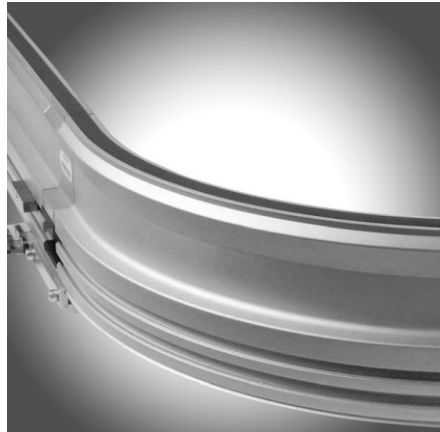


Abbildung 54: Kurve des montratec Transportsystem (Montratec, 2017)

Zudem gibt es verschieden andere Module wie Weichen, Kreuzungen, Positioniereinheiten, Türen, Handarbeitsplätze und Lifteinheiten (Montratec, 2017).

Das Transfersystem montratec zeichnet sich durch folgende Punkte aus (Montratec, 2017):

1. Zuverlässigkeit:

Das System ist generell sehr wartungsarm, da nur das Shuttle und die Weichen in Bewegung sind. Das Shuttle kann dabei einfach entnommen werden und durch ein Neues ersetzt werden ohne die gesamte Anlage zu stoppen. Der Anteil an mechanischen Komponenten ist gering. Zudem entfällt die Notwendigkeit pneumatischer Komponenten und ihre Anschlüsse.

2. Einfachheit:

Montratec ist durch die einfache Bauart sehr schnell montiert, die Monoschienen und Traceverbindungen sind für eine schnelle Montage ausgelegt. Zudem können Anlagen sehr kompakt gestaltet werden, durch die möglichen engen Kurvenradien. Dank der Smart Logistic Technology braucht die Strecke nicht mehr gesteuert werden, sondern die Shuttles agieren autonom und wissen selbst wo die Werkstücke hingebraucht werden müssen.

3. Flexibilität:

Alle Komponenten sind untereinander kompatibel, da sie dieselbe Basis haben. Durch die unterschiedlichen Komponenten kann das Transfersystem einfach an die Räumlichen Gegebenheiten angepasst werden. Zudem ist es möglich auf derselben Strecke unterschiedliche Produkte in Größe und Form zu transportieren. Somit zeichnet sich das System durch eine hohe Flexibilität aus. Durch die Versorgung der Shuttles mit Strom ist es sogar möglich bereits während des Transportes die Werkstücke zu testen oder weiter zu bearbeiten. Auch der Einsatz in Reinräumen ist durch die kontaktlose Stromübertragung und die Ausstattung mit rein elektrischen Antrieben gewährleistet.

4. Rentabilität:

Das montratec Transportsystem hat einen niedrigen Stromverbrauch. Durch die Speisung diverser Komponenten über die Stromschiene verringert sich auch der Verkabelungsaufwand. Zudem steigert es durch die bessere Auslastung der Produktion die Wirtschaftlichkeit des Betriebes. Mit der intelligenten Steuerung Smart Logistic Technology verringert sich außerdem der Steuerungsaufwand.

4.2.2 3D Modellierung und technische Auslegung des montrac Systems für das Smart Mini Factory Labor

Für die Ausführung des Transportsystems montrac von der Firma Montratec zur flexiblen Verkettung wurden Zeichnungen und Bilder angefertigt:

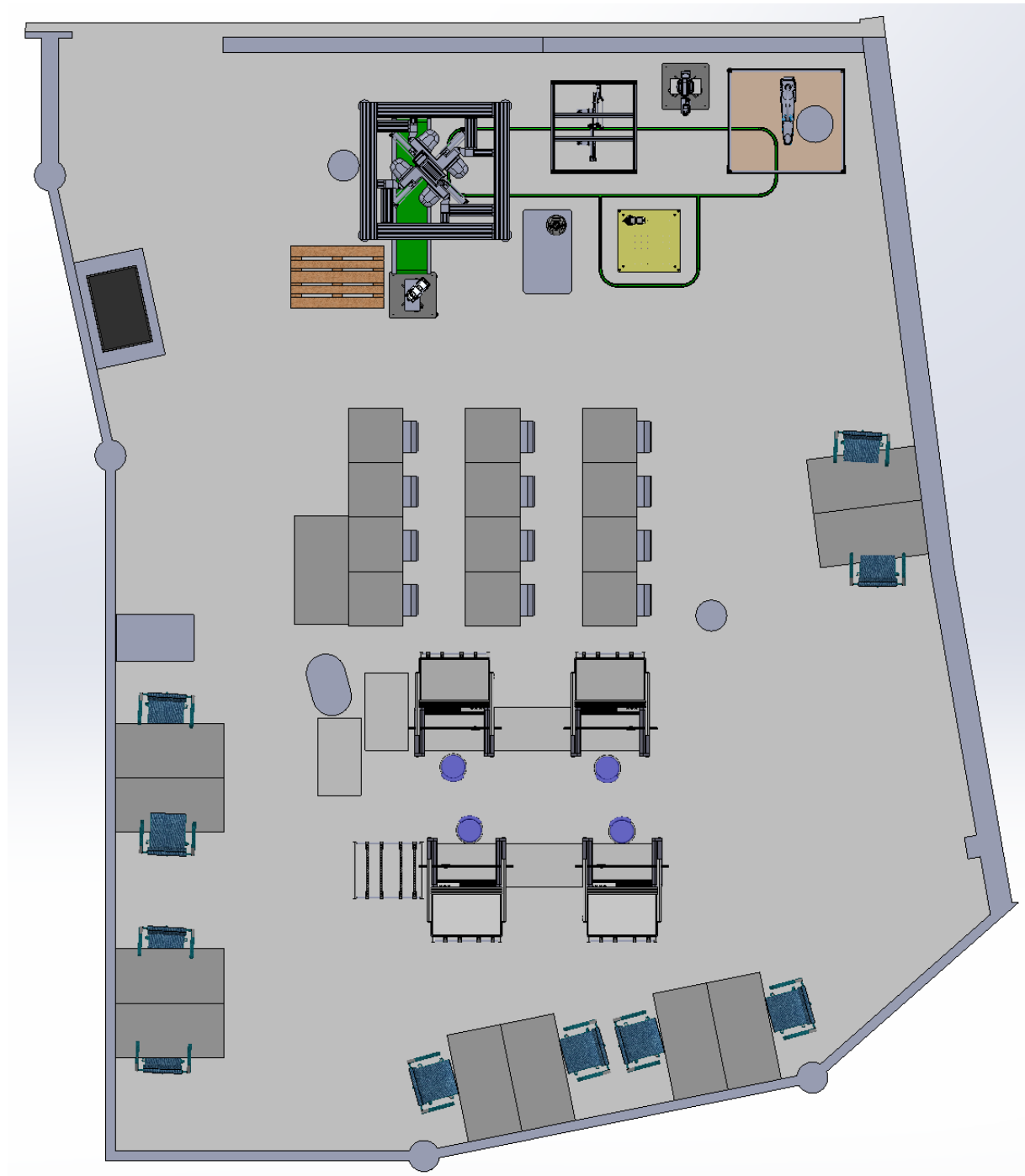


Abbildung 55: Draufsicht: Smart Mini Factory mit Transfersystem montrac

4 – Technische Auslegung und Planung der favorisierten Varianten

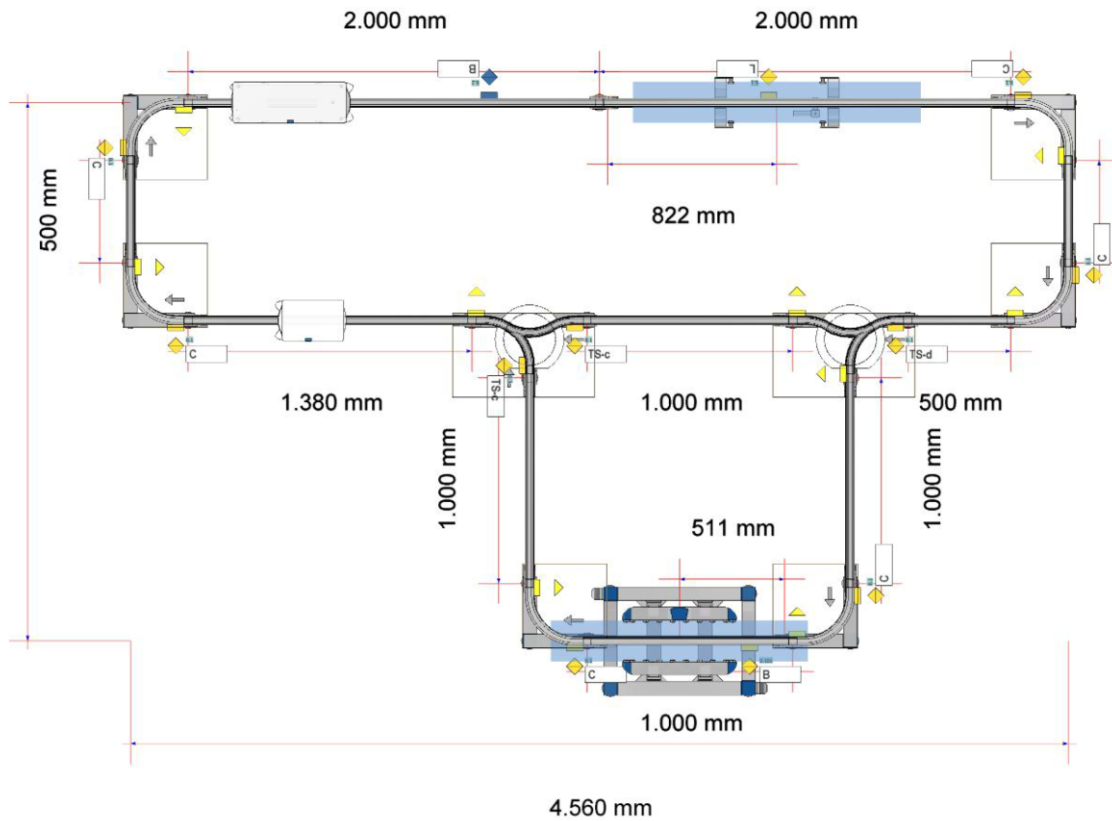


Abbildung 56: Transfersystem montrack von der Firma Montratec im SMF-Layout (Montratec, 2018)

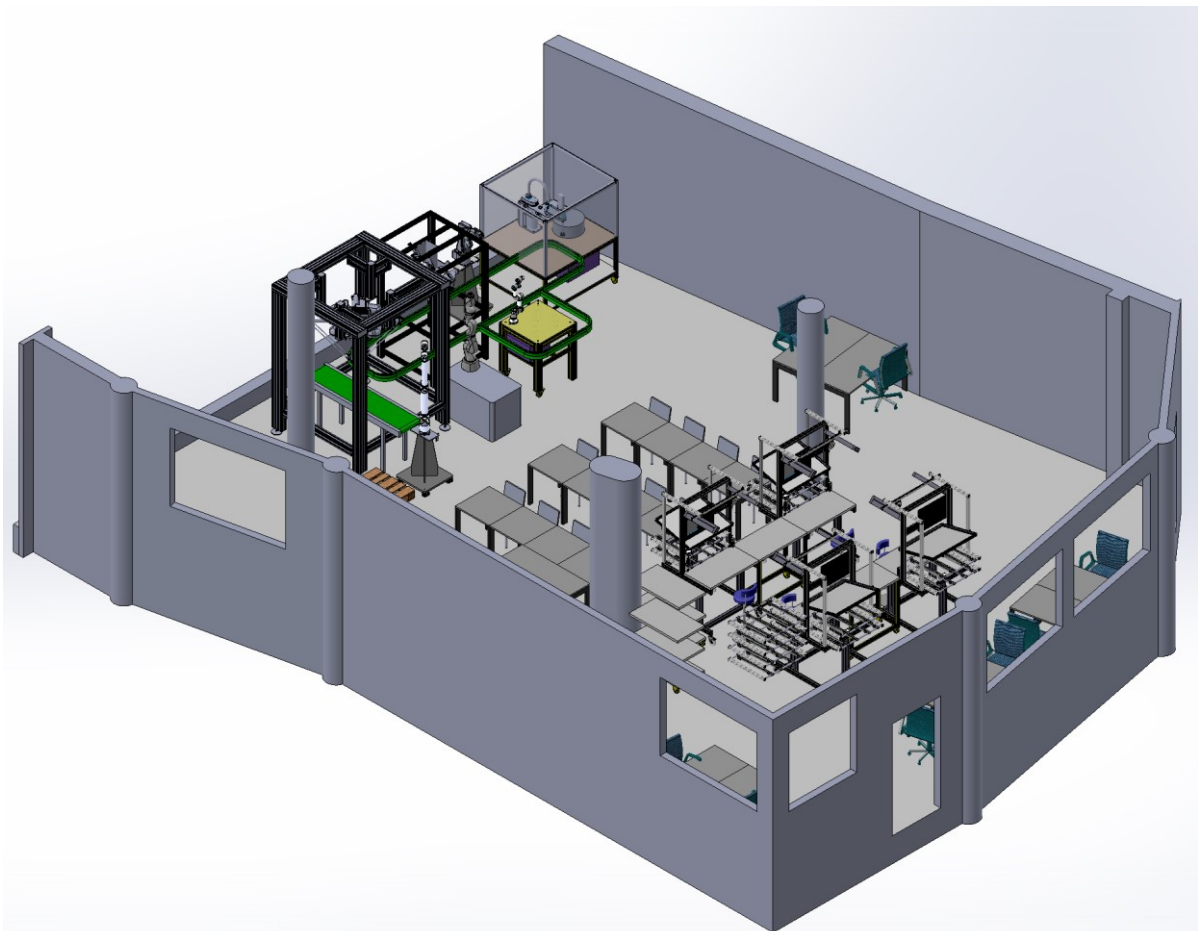


Abbildung 57: 3D-Ansicht 1: Smart Mini Factory Labor mit montrack Transfersystem von Montratec

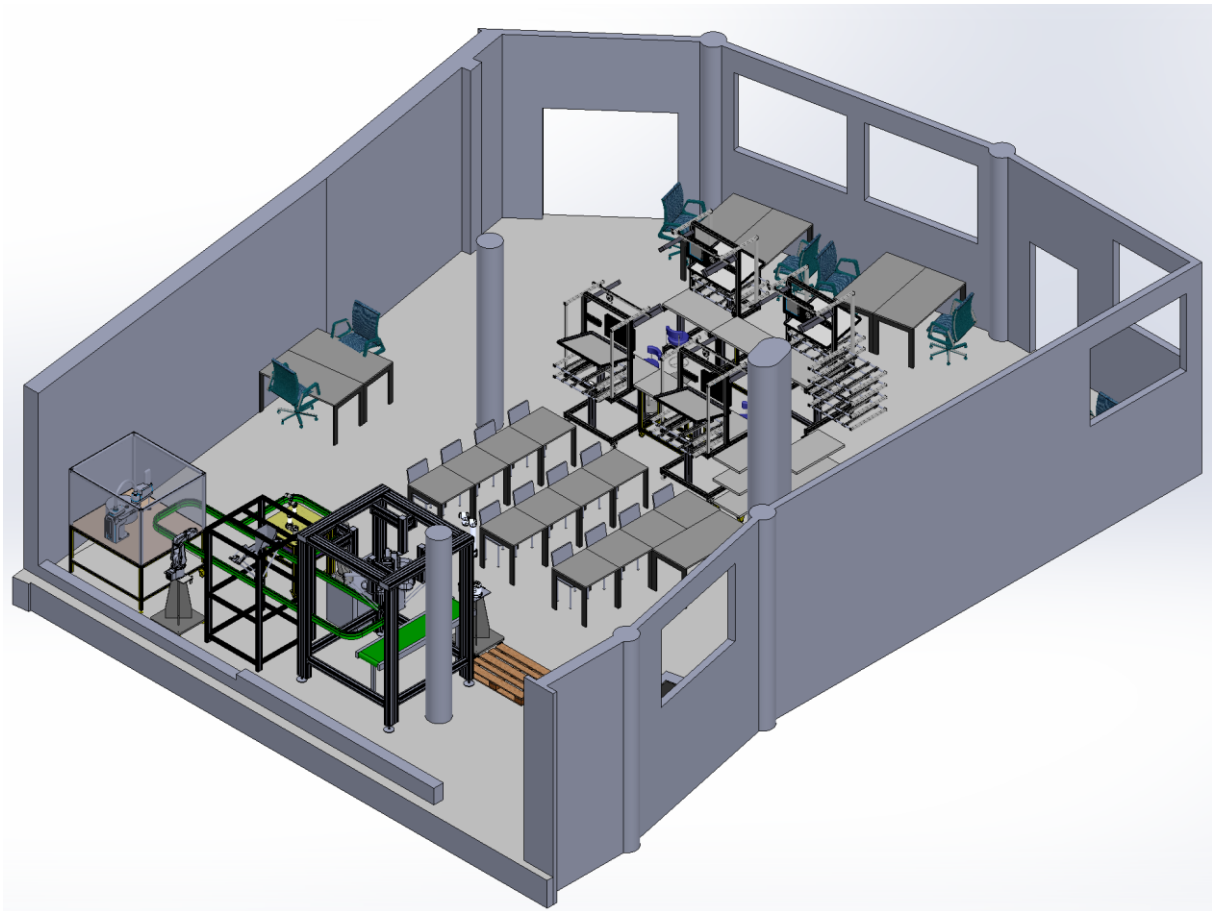


Abbildung 58: 3D-Ansicht 2: Smart Mini Factory Labor mit montrac Transfersystem von Montratec

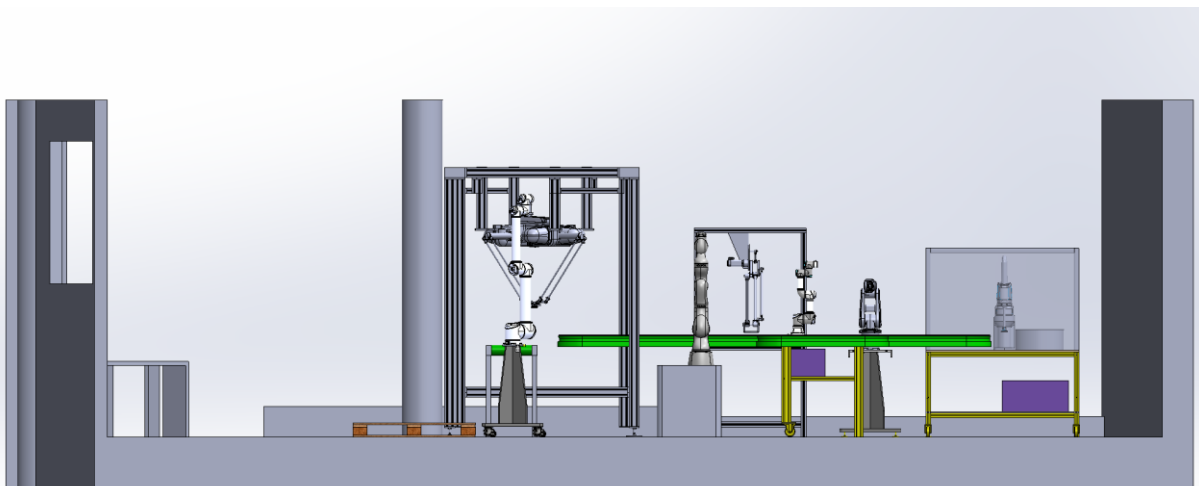


Abbildung 59: Schnittansicht: Smart Mini Factory Labor mit montrac Transfersystem von Montratec

4.2.3 Integrationskonzept der Maschinen, Roboter und Arbeitsplätze

Das Konzept sieht vor alle Roboter sowie die manuellen Montageteische von Bosch Rexroth zu integrieren und flexibel zu verketten. Das Integrationskonzept ist im Grunde dasselbe wie beim Transfersystem TS 2plus von Bosch Rexroth.

Bosch Rexroth Montageteische und Kuka KMR iiwa:

Die manuellen Arbeitsplätze von Bosch Rexroth bleiben in dem Bereich des Labors wo sie zurzeit aufgebaut sind. Um diese Arbeitsplätze in das Konzept zu integrieren, wird der Kuka KMR iiwa Roboter verwendet. Dabei befinden sich im Bereich der manuellen Stationen bestimmte Vorrichtungen, welche der Kuka KMR iiwa ansteuert. Auf diesen Vorrichtungen befindet sich das Produkt, welches der Roboter selbst mit dem Roboterarm LBR iiwa aufnimmt und auf die Mobile Plattform lädt. Dabei muss der Roboter immer dieselbe Stelle anfahren, sodass der Roboterarm immer an der gleichen Position zugreift. Das heißt, die Position der Vorrichtung darf nicht verändert werden und der Roboter Kuka KMR iiwa muss eine bestimmte Positioniergenauigkeit aufweisen. Sobald er sich das Werkstück von den manuellen Arbeitsplätzen abgeholt hat, fährt er über einen einprogrammierten Weg zu dem Bereich, in dem das automatisierte Transfersystem montrac sich befindet. Im Transfersystem sind ein oder zwei Docking-Stationen vorgesehen, welche der Roboter anfährt. Auch hier muss die Positioniergenauigkeit passen. Der Roboterarm hat wieder die Aufgabe das Werkstück von der mobilen Plattform auf den Werkstückträger des Shuttles zu geben. Dabei besitzt der Werkstückträger die passende Haltevorrichtung um das Produkt aufzunehmen.

Universal Robot UR3:

Bei der flexiblen Verkettung der vorhandenen Roboter, wird der kollaborative Roboter so integriert, dass er als automatisierte Station verwendet werden kann oder als hybrider Arbeitsplatz. Der UR3 Roboter von Universal Robots ist auf einen Tisch montiert, welcher durch Rollen verschoben werden kann. Zusammen mit dem Tisch wird der UR3 in das Transfersystem integriert. Dabei ist ein sogenannter Bypass vorgesehen. Das bedeutet, dass das Shuttle hinter dem Roboter vorbeifahren kann, oder das Shuttle wird durch die integrierten Tracswitch Komponente ausgeschleust und fährt somit vorne um den Tisch vorbei.

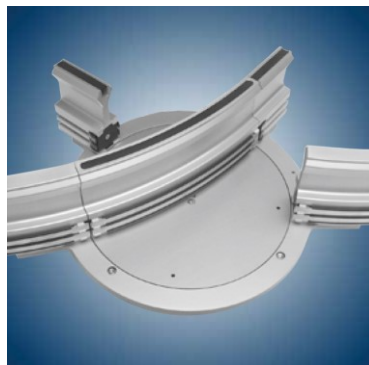


Abbildung 60: Modul Tracswitch des Transfersystems montrac (Montratec, 2017)

Dadurch, dass der Roboter auch für andere Forschungen und Lehrzwecke verwendet wird, kann dieser von dem Bypass-System samt Tisch entnommen werden. Deshalb ist es vorgesehen, dass die Strecke des Transfersystems vorne am Roboter wie eine

Schranke aufgeklappt werden kann und somit die Möglichkeit besteht den Tisch samt Roboter herauszuziehen. Wenn der Roboter im System integriert ist, kann er verschieden verwendet werden. Entweder erfüllt er die Aufgaben einer automatisierten Arbeitsstation oder er arbeitet als kollaborativer Roboter mit dem Menschen zusammen.

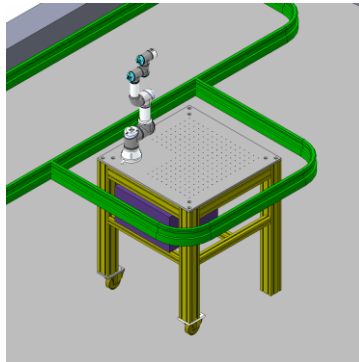


Abbildung 61: Bypass-System mit integriertem Roboter UR3 im montrac Transfersystem

Manuelle und Kollaborative Arbeitsstation:

Falls notwendig ist auch ein manueller Montageprozess möglich. Die manuelle Montagestation befindet sich am Bypass des Transfersystems. Dabei wird durch das Ausschleusen des Shuttles aus dem Hauptschluss in einen Nebenschlussplatz eine gewisse Flexibilität erreicht. Das Shuttle wird bis zum Arbeitsplatz gefördert und dort durch die Festhaltevorrichtung Supotrac festgehalten und der Arbeiter kann seine Montage vornehmen. Nach beenden der vorgesehenen Arbeit kann der Arbeiter das Signal zur Freigabe geben und das Shuttle wird wieder automatisch in den Hauptschluss eingeschleust. Sollte der UR3 Roboter sich nicht im Freiraum des Bypasses befinden kann dieser leere Platz für die Bereitstellung bestimmter Materialein, Pläne oder Werkzeuge für den Mitarbeiter genutzt werden. Wenn der kollaborative Roboter UR3 im System integriert ist, also sich im Freiraum des Bypasses befindet, kann diese Arbeitsstationen als hybride Montagestation genutzt werden. Auch hier wird das Shuttle angehalten und eine gemeinsame Montage von Mensch-Maschine kann stattfinden. Durch die Freigabe schleust sich das Shuttle wieder in den Hauptschluss ein und wird zu den nächsten Arbeitsstationen gefördert.



Abbildung 62: Supotrac Modul für die manuelle Montage (Montratec, 2017)

Adept Cobra i600 SCARA:

Nach dem manuellen bzw. hybriden Arbeitsplatz fährt das Shuttle mit dem Werkstück auf dem Hauptschluss zur nächsten Station. Dabei handelt es sich um eine automatisierte Montagestation mit dem Adept Cobra i600 SCARA Roboter. Dieser Roboter ist bereits auf einem Tisch montiert. Da es sich um keinen kollaborativen Roboter handelt,

ist am Tisch eine Sicherheits-Einhausung aufgebaut. Damit das Transfersystem den Roboter passieren kann, müssen bei der Einhausung zwei Öffnungen vorgesehen werden. Dabei werden zusätzliche Sicherheits-Lichtschränke nötig. Auf der Tischplatte sind auch noch ein Dreh-Vibrations-Zuführer und ein Kamerasystem montiert. Damit können lose Teile dementsprechend durchs Vibrieren ausgerichtet werden. Diese erkennt das Kamerasystem und somit wird dem Roboter mitgeteilt, welche Teile er greifen kann. Dem Shuttle mit der darauf montierten Werkstückträgerplatte wird am Roboter durch die Steuernocken die Stopposition mitgeteilt. Somit kann der Roboter den programmierten Montageschritt durchführen. Nach Beendigung des Prozesses wird das Shuttle freigegeben und wird zur nächsten Station befördert. Damit das Transfersystem auf einer Ebene, mit der Höhe 1000 mm, agieren kann müssen die Tischbeine des Adept Cobra i600 SCARA Roboter gekürzt werden.



Abbildung 63: Positioningunit Modul für die Positionierung am Roboter (Montratec, 2017)

ABB IRB 120:

Nach der Station mit dem Adept Cobra i600 SCARA Roboter steuert das Werkstück auf dem Shuttle die Station mit dem Roboter ABB IRB 120 an. Dieser Roboter ist auf einem Sockel montiert. Er verfügt über keine Sicherheits-Einhausung, Sicherheits-Lichtschränksystem oder ähnliches. Außerdem handelt es sich beim ABB IRB 120 um keinen kollaborativen Roboter. Somit ist der Roboter im Layout so platziert, dass er vom Adept Cobra i600 SCARA, dem Transfersystem selbst und der Wand eingeschlossen ist. Dadurch braucht er nur von einer Seite mit einem Sicherheitssystem wie Tür, Lichtschranke oder ähnliches ausgestattet werden. In dieser Station wird ebenfalls das Shuttle durch die Steuernocke gestoppt und mit dem Positioningunit positioniert. Somit kann der ABB IRB 120 seinen Montagevorgang ausführen. Nachdem alle Vorgänge in dieser Station abgeschlossen sind, wird das Shuttle vom System freigegeben und fährt über die Monoschiene weiter zur nächsten Station.

Adept Quattro s650H parallel Roboter:

Nachdem das Shuttle die automatisierte Station mit dem ABB IRB 120 Roboter passiert hat, fährt das Shuttle zu der Station mit dem Adept Quattro s650H parallel Roboter. Dieser ist auf ein bestehendes Gerüst montiert. Da es sich auch beim Adept Quattro s650H parallel Roboter um keinen kollaborativen Roboter handelt, befinden sich am Gerüst Sicherheitstüren. Diese Sicherheitsmaßnahmen müssen jedoch modifiziert werden, da das Transfersystem unter den Roboter vorbeigehen muss. Das Shuttle mit dem Werkstück wird durch die Steuernocke angehalten und somit kann der einprogrammierte Arbeitsprozess vom Roboter ausgeführt werden. Da diese Station für das Verpacken der Produkte verwendet werden kann, ist hier auch ein Transportband vor-

gesehen, welches die Verpackungsbox fördert. Der Adept Quattro s650H parallel Roboter hat somit die Aufgabe die fertig montierten Produkte vom Shuttle zu nehmen und in die bereitgestellte Box zu geben. Sobald die Werkstückträgerplatte leer ist, wird das Shuttle vom System freigegeben und läuft die Produktionslinie von vorne durch. Die bepackte Box wird vom bestehenden Förderband zur nächsten Station transportiert.

Universal Robot UR10:

Der UR10 von Universal Robot ist der große Bruder des UR3. Beim UR10 handelt es sich ebenfalls um einen kollaborativen Roboter. Dadurch sind keine Sicherheitsmaßnahmen wie Lichtschranken oder Schutzgitter nötig. Der UR10 Roboter ist auf einem Sockel montiert, der dieselben Maße besitzt wie der Sockel des ABB IRB 120. Im Layout ist der Roboter ziemlich nahe am Durchgang platziert, aber durch seine kollaborativen Eigenschaften ist das kein Problem. Seine Aufgabe in der Produktionslinie ist das Palettieren der Boxen, welche vom Adept Quattro s650H parallel Roboter gefüllt wurden. Der UR10 Roboter befindet sich am Ende des Förderbandes. Die vom Förderband transportierten Boxen werden vom Roboter genommen und auf eine Palette gestockt.

Zwei-Achsen parallel Roboter:

Dabei handelt es sich um einen zwei-Achsen parallel Roboter. Dieser ist auf ein Gerüst montiert. Er wird von der technologischen Fachoberschule (TFO) Max Valier Bozen zur Verfügung gestellt. Da der Roboter jedoch noch nicht bereitsteht, wird er später in das System integriert. Dabei ist sein Nutzen vor allem für Lehrzwecke bestimmt. Der Zwei-Achsen parallel Roboter ist somit in der Produktionslinie im Bereich zwischen dem ABB IRB 120 und dem Adept Quattro s650H parallel Roboter vorgesehen. Da es sich hier um keinen kollaborativen Roboter handelt, müssen dementsprechende Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden. Deshalb ist auch dieser Roboter, wie der ABB IRB 120, vom Transfersystem, Wand und ABB IRB 120 umgeben. Somit muss nur an einer Seite eine Sicherheitstür angebracht werden.

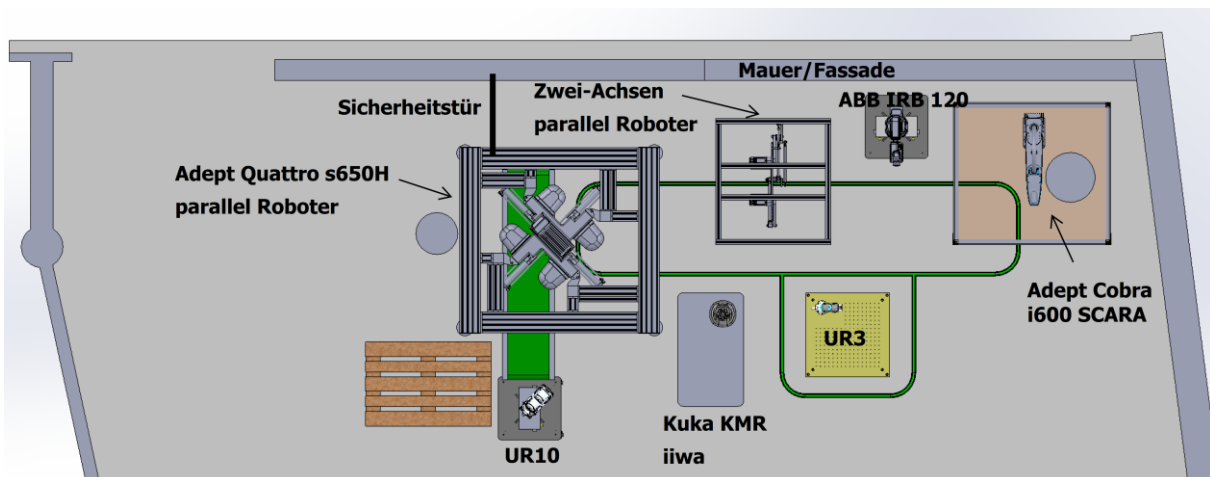


Abbildung 64: Layout des montrac Transportsystem im Smart Mini Factory Labor

4.3 Fazit und Empfehlung

Durch die genauere Untersuchung der beiden favorisierten Transfersystemen ist zu erkennen, dass sie sich in Sachen Layout kaum voneinander unterscheiden. Der Unterschied liegt in den Systemen selbst, beziehungsweise in der genutzten Technik der Transfersysteme. Beim Bosch Rexroth Transfersystem TS 2plus wird der Werkstückträger von den Bahnstrecken über zwei stetig umlaufenden Riemen befördert. Somit muss jede Strecke einen eigenen Motor haben. Der Werkstückträger wird auf den Schienen durch die Reibung mit dem Riemen mitgezogen. Dies hat den Vorteil, dass automatisch, wenn ein Werkstückträger angehalten wird, sich Puffer bilden können da die Haftreibung zwischen Werkstückträger und Riemen in eine Gleitreibung über geht. Beim montrac Transportsystem von der Firma Montratec besitzt jedes Shuttle eine Antriebsachse mit Elektromotor. Die Führungsschiene fungiert gleichzeitig als Stromschiene. Somit ist es möglich, dass jedes Shuttle unabhängig von den anderen Shuttles bewegt werden kann. In diesem Fall werden Puffer überflüssig, da jedes Shuttle nach Bedarf weiterfahren kann. Für die Umsetzung des Layouts haben beide Hersteller die benötigten Komponenten und Module. Sei es für Kurven, Quertransport und Positionierung. In beiden Systemen lassen sich ohne Probleme manuelle Arbeitsplätze direkt in die Strecke integrieren. Auch hierfür sind Module und Komponenten zur Verfügung, um den Werkstückträger oder das Shuttle für möglichen erhöhten Belastung durch den Arbeiter Stand zu halten. Zudem bieten sie die Möglichkeit bei Bedarf WT und Shuttle zu entnehmen. So ist die Integration der automatisierten und manuellen Stationen mit beiden Systemen fast identisch realisierbar. Es ist möglich den WT oder das Shuttle zu stoppen, positionieren und nach Prozessende in der Station das Shuttle weiter zu befördern. Ebenso sind beide Transfersystem modular aufgebaut, das heißt, sie können für eine spätere Erweiterung oder Umrüstung einfach wiederverwendet werden. Auch die Vorgaben für Gewicht und Größe der zu fertigenden Produkte und Werkstücke können mit beiden Systemen erfüllt werden. In Sachen flexible Verkettung sind sowohl das montrac Transportsystem als auch das TS 2plus Transfersystem bestens geeignet. Dies werden durch die mögliche Ausschleusung des Werkstückträgers beziehungsweise des Shuttles aus dem Hauptschluss gegeben sowie der Pufferbildung im Falle von Bosch Rexroth und der unabhängigen Bewegung der Shuttles untereinander beim montrac-System gegeben. Beide Transfersystem sind sehr kompakt konstruiert und bieten sich dadurch für den Einsatz im Smart Mini Factory Labor an.

4 – Technische Auslegung und Planung der favorisierten Varianten

	TS 2plus Bosch Rexroth	montrac Montratec
Anforderungen an das Transfersystem zur Umsetzung des Layouts:		
Integration vorhandener Roboter	++	++
Integration vorhandener Montagetische	++	++
Integration manuell-hybrider Arbeitsstation	++	++
Einhaltung Anforderungen der Räumlichkeit SMF	++	++
Anforderungen an das Transfersystem selbst:		
Automatisierte Förderung (kein manuelle Förderung zwischen den Stationen)	++	++
IT Schnittstellen	++	++
Werkstückträger für unterschiedliche Produkte und Mindestgröße 300x300mm	++	++
Ausschleusungen der WT oder Shuttle (Bypass)	++	++
Pufferzonen	++	++
Zuladung bis zu 14 kg je WT/Shuttle	++	++
Modularität	++	++
Kompaktheit	++	++
RFID	++	++
Innovative/intelligente Steuerung	+	++
Sensorik auf WT/Shuttle	-	++
Mögliche Bearbeitung des Werkstückes während der Fahrt (Stromzufuhr auf dem WT/Shuttle)	-	++

- nicht erfüllt
+ teilweise erfüllt
++ komplett erfüllt

Abbildung 65: Gegenüberstellung der Anforderungen der favorisierten Transfersysteme

Nach der genaueren technischen Analyse ist das Transportsystem montrac von der Firma Montratec empfehlenswert. Die intelligente Steuerung „Smart Logistic Technology“ des Transportsystem ist sehr innovativ. Dabei wird die Fahrstrecke unabhängig von der Leitsteuerung betrieben. Dies wird erreicht indem man Identitätsmerkmale mit Steuerbefehlen verknüpft und so Streckenkomponenten autonom agieren können. Somit dient die Leitsteuerung hauptsächlich zur Bedienung der Bearbeitungsprozesse in den Stationen. Zudem sind die Shuttles selbstzentrierend auf der Monoschiene befestigt und besitzen eine smarte Sensorik, mit welcher sich Hindernisse und andere Shuttles auf der Strecke erkennen lassen. Im Gegensatz zu dem Transfersystem TS 2plus von Bosch Rexroth kann somit das Transfersystem montrac durch diese genannten Punkte mehr Überzeugen.

5 Kostenübersicht der analysierten Transfersysteme

Die Angebote der beiden favorisierten Hersteller, Bosch Rexroth und Montratec, für das Layout mit den integrierten automatisierten und manuellen Stationen sind wie folgt zusammengesetzt:

Bosch Rexroth Transfersystem TS 2plus:

Die Kosten für das Bosch Rexroth Transfersystem TS 2plus setzen sich aus folgenden Punkten zusammen (Bosch Rexroth d, 2018):

- Lieferung und Bereitstellung der Produktionslinie mit dem Transfersystem TS 2plus und den dazu passenden Werkstückträger. Mit dazu gehört die nötige Unterkonstruktion und Sensorik damit die Linie funktioniert.
- RFID-System für die Identität und Speicher der mobilen Daten. Zudem sind hier die Antennen und Kommunikationsmodule inklusive.
- Alle Bauteile für die Indexierung der Werkstückträger in den automatisierten Stationen.
- Alle Bauteile für die Ausführung der Arbeiten in den manuellen und hybriden Stationen.
- Mögliches Transfersystem für die mobile Plattform.

Das Transfersystem für das Layout im Smart Mini Factory Labor ist aus folgenden Komponenten zusammengesetzt (Bosch Rexroth d, 2018):

- Bahnstrecke des Typs BS2 mit Zahnriemen. Die Breite ist für den Werkstückträger von 320 mm ausgelegt. Die erreichbare Höchstgeschwindigkeit liegt bei 12 m/min. Höhe des Transfersystem ist 1000 mm.
- Der Werkstückträger des Typs WT2 mit einer Größe von 320 x 320 mm.
- Quertransporteinheiten des Typs HQ2/U für die Aus- und Einschleusung des Werkstückträger in den Bypass
- Haltepunkte für den Werkstückträger WT2
- Verschiedene zusätzliche Komponenten Kipphebel WI/M, Halter des Typs SH2/S, SH2/U, SH2/UV sowie induktive Sensoren M12.
- Verschiedene Standfüße und Komponenten, um die Produktionslinie auf einer Höhe von 1000 mm zu montieren.
- Das System verfügt über die Möglichkeit eine Strecke zu öffnen, um in das Innere des Bypasses zu gelangen. Dieses Stück wird mit den dazu nötigen Komponenten ausgestattet.
- Die Stopper für die Werkstückträger und weitere Komponenten sind nicht fix montiert und können nach Bedarf entlang dem Transfersystem verstellt werden.
- Für das RFID-System sind verschiedene Komponenten vorgesehen, wie Halterung für den Chip auf den Werkstückträger Typ ID 200MDT 1/2K-H, Montageset ID 200, Antenne ID 200 /A-HF, Antennenkabel ID 200/K-ANT2-2M, Kommunikationsmodul ID 200 /C-ETH, Versorgungskabel ID 200/K-VCC-5M und Ethernet Kabel ID 200/K-ETH M12 - 5M .
- Für die Indexierung in den automatisierten Stationen sind die folgenden Komponenten vorgesehen, Positionierungseinheit PE 2, Positionserfassung PE 2, induktive Sensoren M12, Vereinzeler VE 2, Halter für Schalter SH2/UV und SH2/S.

- Für die manuelle und hybride Arbeitsstation sind folgende Komponenten inklusive, Vereinzeler VE2, Halter für Schalter SH2/UV und SH2/S, induktive Sensoren M12 und Führung für Werkstückträger.

Montratec Transportsystem montrac:

Das Angebot setzt sich aus den Streckenkomponenten wie Monoschiene und Kurven, aus den Einheiten für die automatisierten und manuellen Stationen wie Positioniereinheit und Festhaltevorrichtung, aus der intelligenten Steuerung, aus den Shuttles und dessen Werkstückträgerplatte sowie aus dem Unterbau. Zudem sind alle benötigten Zubehörteile der verschiedenen Punkte angegeben (Montratec, 2018).

Das Transportsystem montrac setzt sich aus folgenden Komponenten für das Layout im Smart Mini Factory Labor zusammen (Montratec, 2018):

- Monoschiene Trac MT56926 mit verschiedenen Längen
- Trac-Connection MT65682 für die Verbindung der geraden Monoschienen
- TracCurve MT56095 mit 90° für die Kurven
- TracSwitch MT58734 für die Kreuzungen beim Bypass, mit den passenden Zubehör MT56935
- PositioningUnit MT65094 für die Positionierung des Shuttles in den automatisierten Stationen
- SupoTrac MT56933 mit Plattform 200x300 mm und Shuttle-Verriegelung, für die manuelle Station
- Intelligentes Steuermodul (IRM) mit dem passenden Zubehör
- Shuttle mit unterschiedlichen Größen, Länge 300 mm MT56948 und mit Länge 500 mm MT61717
- Werkstückträgerplatte 200x300x15 mm MT91677 und Werkstückträgerplatte 200x550x15 mm MT56948, jeweils mit dazu passendem Zubehör
- TracSet Frameworks, verschieden Komponenten für den Unterbau der Strecke
- Verschiedene Schalter für die vollständige Funktion der Rundstrecke

Hier die Gegenüberstellung der beiden Hersteller und ihrer Transfersysteme:

Bosch Rexroth Transfersystem TS 2plus			
	Einheitspreis	Menge	Preis
Produktionslinie als Rundstrecke inklusive 12 Werkstückträger	76.680,48 Euro	1	76.680,48 Euro
RFID 200 System	5.577,91 Euro	0	0,00 Euro
Indexierung Werkstückträger automatisierte Stationen	1.504,42 Euro	3	4.513,26 Euro
Haltestelle einfache Position manuelle Stationen	401,25 Euro	4	1.605,00 Euro
Strecke für mobile Plattform	2.099,34 Euro	0	0,00 Euro
SUMME			82.798,74 Euro

Montratec Transportsystem montrac			
	Einheitspreis	Menge	Preis
Produktionslinie	13.943,99 Euro	1	13.943,99 Euro
Positioniereinheit automatisierte Stationen	2.068,00 Euro	3	6.204,00 Euro
Halteeinheit manuelle Stationen	769,00 Euro	4	3.076,00 Euro
Steuerungsmodul	5.254,00 Euro	1	5.254,00 Euro
Steuermodul Zubehör	1.220,00 Euro	1	1.220,00 Euro
Unterkonstruktion Produktionslinie	8.557,00 Euro	1	8.557,00 Euro
Shuttle mit Werkstückträgerplatte 200x300x15 mm	3.267,00 Euro	12	39.204,00 Euro
Verschiedene Zubehör	451,80 Euro	1	451,80 Euro
SUMME			77.910,79 Euro

Abbildung 66: Gegenüberstellung Kosten der beiden favorisierten Transfersysteme

6 Gesamtfazit

Mit der genaueren Recherche und Analyse wird festgestellt, dass das Thema Industrie 4.0 nicht einfach der Einsatz einer bestimmten Technologie ist, sondern viele Faktoren mit einfließen. Damit unterscheidet sich die sogenannte vierte Revolution von den drei vorangegangenen Revolutionen, die alle durch ein Schlagwort identifiziert werden können. Bei Industrie 4.0 gehört das Zusammenwirken verschiedener Technologien sowie die Art der Interaktion zu den Kernelementen. Ziel ist es die Produktion zu steigern, effizient zu machen und zugleich variabel und flexibel zu gestalten. Da das Konzept für Industrie 4.0 als Wegweiser für die Zukunft in der industriellen Produktion gilt, ist durch die Recherche festgestellte Integration des Konzepts in die Lernfabriken der Universitäten, Unternehmen und Forschungseinrichtungen sehr von Bedeutung. Es ist sehr von Vorteil theoretisch gelerntes Wissen mit praktischer Umsetzung bereits in der Ausbildungsphase zu kombinieren. Somit erklärt sich auch die Notwendigkeit einer flexiblen Verkettung einzelner Montagestationen im Smart Mini Factory Labor der Freien Universität Bozen. Durch die immer höhere Variantenvielfalt und unterschiedlichen Losgrößen ist eine flexible Montagelinie notwendig, um am Markt bestehen zu können. Nach näherer Betrachtung spielen verschiedene Faktoren eine Rolle für eine anpassungsfähige Produktionslinie. Vor allem manuelle und hybride Stationen sind da von Bedeutung. Auch eine gewisse Taktunabhängigkeit trägt zur Flexibilität bei. Um diese Flexibilität zu erreichen und die Stationen einer Produktionslinie zu verketteten, sind verschiedene Anbieter am Markt. Dabei lässt sich feststellen, dass es unterschiedliche technische Lösungen an Transfersystemen zu Verbindung der Stationen gibt. Eine Variante ist die Förderung der Werkstückträger über zwei stetig umlaufende Riemen oder Ketten, die andere Variante ist, dass der Antrieb auf dem Shuttle selbst liegt und dieses auf einer Schiene geführt wird. Nach der Auswahl der zwei Anbieter mit den zwei verschiedenen Transfersystemen, erfolgte die Planung und technische Auslegung. Die favorisierten Varianten sind das Transfersystem TS 2plus von der Firma Bosch Rexroth und das Transportsystem montrac von der Firma Montratec. Dabei war es ohne weiteres möglich mit beiden Systemen das Layout zu erfüllen. Die Flexible Verkettung der vorhandenen Roboter und manuellen Arbeitsplätze ist realisierbar. Zudem sind beide Transfersystem kompakt und modular aufgebaut. Das Layout kann nach Bedarf ohne Probleme mit weiteren Stationen erweitert werden. Ein interessanter Unterschied liegt dabei in der Steuerung und Ausstattung der Werkstückträger beziehungsweise Shuttles. Diese ist beim Transportsystem montrac durch die selbstangetriebenen Shuttles sehr zukunftsorientiert gestaltet und die Shuttles besitzen eine moderne Sensorik. Durch diese Elektronik können diese selbst Hindernisse und andere Shuttles erkennen. Auch die Möglichkeit Identitätsmerkmale mit Steuerbefehlen zu kombinieren und Streckenkomponenten autonom agieren zu lassen passen perfekt zum Thema Industrie 4.0. Für die Umsetzung im Smart Mini Factory Labor unterscheiden sich die beiden Systeme in Sachen Kosten ebenfalls voneinander, jedoch nicht so stark. Dabei belaufen sich die Gesamtkosten des Transfersystem TS 2plus von Bosch Rexroth auf ungefähr 83.000 Euro. Hingegen beim Transportsystem montrac von der Firma Montratec liegen die Gesamtkosten bei circa 78.000 Euro.

7 Zusammenfassung

7.1 Deutsche Fassung

Industrie 4.0 oder vierte industrielle Revolution dient als Zukunftstreiber von Produktionsbetrieben. Obwohl die vorhergegangenen drei industriellen Revolutionen erst im Nachhinein so benannt wurden, wird mit Industrie 4.0 bereits im Vorhinein die nächste Revolution in der Produktion ausgerufen. Dabei finden verschiedene Technologien Einzug in die Produktion, aber vor allem die Kommunikation und Interaktion zwischen Mensch-Maschine und Produkt sind das Kernmerkmal von der vierten industriellen Revolution.

Um dieses Konzept schon früh zu unterstützen und zu fördern, versuchen Unternehmen, Universitäten, Forschungseinrichtungen und Schulen mit sogenannten Lernfabriken den Auszubildenden die nächste Art der Produktion beizubringen. So ergibt sich das Konzept der Lernfabrik für Engineering Education 4.0. Dabei soll durch realitätsnahes Lernen früh praktische Erfahrung gesammelt werden. Das theoretisch gelernte Wissen soll in einer praxisnahen Umgebung umgesetzt werden. Dabei können Auszubildende, je nach Ausstattung des Labors, ganze Produktionslinien aufbauen.

Auch die Freie Universität Bozen führt eine Lernfabrik mit dem Namen Smart Mini Factory Labor. Dieses dient sowohl für Lehrzwecke als auch für Forschungsprojekte. Ein Schwerpunkt ist dabei, Produktionstechnologien und -methoden im Kontext von Industrie 4.0 zu erforschen und zu simulieren.

Das SMF bietet eine beachtliche Ausstattung an Roboter und manuellen Arbeitsplätzen. Diese sind jedoch alles einzelne Stationen und nicht miteinander verknüpft. Jedoch um eine Produktionssimulation durchspielen zu können, welche zugleich zum Konzept Industrie 4.0 gehört, muss eine flexible Verkettung dieser Fertigungs- oder Montagestationen möglich sein.

Deshalb soll eine anpassungsfähige Verbindung dabei helfen, variantenreiche Produkte zu fertigen und auf unterschiedlichen Losgrößen ohne großes Umrüsten reagieren zu können. Dies bedeutet die Produktion sollte taktunabhängig sein. Ein weiterer Vorteil für eine flexible Produktionslinie ist die Einbindung manueller und hybrider Arbeitsplätze. Um automatisierte, hybride und manuelle Stationen zu verbinden, gibt es verschiedene Systeme am Markt. Dabei handelt es sich um sogenannte Transfersysteme. Diese unterscheiden sich je nach Hersteller in ihrer Technik.

Im Smart Mini Factory Labor wird ein solches Transfersystem benötigt. Ziel ist es, die vorhandenen Roboter und die bestehenden Bosch Rexroth Montagetechnik flexibel zu verketteten. Bei den Robotern handelt es sich um Industrieroboter, wobei einige kollaborative Roboter sind. Für die Umsetzung des Layouts der Produktionslinie ist ein Bereich vorgesehen, welcher nicht direkt mit den Handarbeitsplätzen zusammenhängt. Zudem soll in die Linie ein manueller beziehungsweise ein hybrider Arbeitsplatz integriert werden. Um diese Anforderungen umzusetzen, gibt es Transfersysteme mit Werkstückträger, welche von Station zu Station befördert werden. Auf diesen Werkstückträger oder Trägerplatten sind die Werkstücke fixiert. Um das konzipierte Layout zu realisieren, wurden zwei Hersteller mit zwei unterschiedlichen Techniken favorisiert.

Ein Hersteller ist Bosch Rexroth mit dem Transfersystem TS 2plus und der zweite Hersteller ist die Firma Montratec mit dem Transportsystem montrac. Beim Transfersystem TS 2plus wird der Werkstückträger von zwei stetig umlaufenden Riemen je Streckeneinheit befördert. Beim Transportsystem von Montratec besitzt das Shuttle selbst die Antriebseinheit.

Mit beiden Systemen ist die Realisierung des geplanten Layouts aus technischer Sicht möglich. Es ist möglich Puffer zu bilden und die Ausschleusung des Werkstückträger beziehungsweise Shuttles in einen Bypass kann ohne Probleme erfolgen. Beide bieten die Komponenten für den Stopp und die Positionierung der umlaufenden Shuttles und Werkstückträger in den automatisierten, manuellen und hybriden Stationen. Dadurch bieten beide die Voraussetzung für eine flexible Verkettung. Außerdem sind das TS 2plus als auch das montrac Transfersystem sehr kompakt und modular aufgebaut. Für eine Umrüstung oder spätere Erweiterung ist alles wieder verwendbar. Auch eine Einbindung der manuellen Montagetische durch eine mobile Plattform ist möglich. Die Steuerung des montrac Transportsystem ist sehr innovativ und zukunftsorientiert. Es ist dadurch möglich Streckenkomponenten autonom agieren zu lassen. In Sachen Kosten heben sich die beiden Anbieter nicht sonderlich von einander ab. Beide liegen im selben Bereich von ungefähr 80.000 Euro.

7.2 Versione italiana

Con i termini "Industria 4.0" o "Quarta rivoluzione industriale" si vuole identificare il nuovo concetto di produzione delle imprese. Anche se le tre rivoluzioni industriali precedenti sono state chiamate così a posteriori, già ora, in anticipo, si parla della quarta rivoluzione industriale. Per realizzare questa nuova tipologia di produzione vengono usate diverse nuove tecnologie; la caratteristica principale però è la comunicazione e l'interazione tra le persone, le macchine ed i prodotti.

Per sostenere e sviluppare il concetto di industria 4.0 già nel mondo dell'educazione, diverse organizzazioni come università, aziende, centri di ricerca e scuole fondano e gestiscono le cosiddette learning factories; in questo modo è possibile inoltre far crescere il concetto di engineering education 4.0. Lo scopo è quello di acquisire una conoscenza molto più aderente alla realtà e di conseguenza ottenere l'esperienza pratica già nella formazione. Il sapere teorico viene quindi impiegato in modo da essere direttamente orientato alla pratica.

Anche la Libera Università di Bolzano ha una "learning factory", denominata Smart Mini Factory. Questo laboratorio serve per l'insegnamento e anche per la ricerca e, attraverso le attrezzature del laboratorio, le apprendiste possono realizzare delle linee di produzione come accadrebbe in una qualsiasi azienda. Uno dei focus principali del laboratorio Smart Mini Factory è quello di studiare e simulare concetti moderni e avanzati di tecnologie e di metodologie di produzione nel contesto dell'industria 4.0.

La Smart Mini Factory è in possesso di diversi robot, macchine e postazioni di lavoro manuali. Questi elementi però sono indipendenti nel laboratorio e manca la possibilità di collegare i robot e le stazioni manuali tra di loro. In ogni caso, per simulare la creazione di un prodotto in una linea di produzione, anche secondo i principi di industria 4.0, manca il collegamento flessibile delle stazioni di produzione e di montaggio.

È necessario quindi creare una connessione adattabile per favorire la produzione di prodotti con molteplici varianti ed essere in grado di intervenire, a diversi livelli, sul lotto senza la necessità di ricostruire la linea di produzione. Per realizzare una linea di produzione flessibile bisogna inserire dei posti di lavorazione manuale e dei posti collaborativi. Esistono diversi sistemi automatici sul mercato per realizzare un collegamento flessibile tra le stazioni automatiche, quelle manuali e quelle ibride. Si tratta dei cosiddetti sistemi di trasferimento e le tecnologie che utilizzano sono differenti da produttore a produttore.

Nel laboratorio Smart Mini Factory c'è bisogno di un sistema di trasferimento; l'obiettivo infatti è quello di collegare in modo flessibile tutti i robot e le postazioni di lavoro manuali di Bosch Rexroth presenti nel laboratorio. I robot nel laboratorio sono robot industriali nei quali sono anche robot collaborativi. La realizzazione del layout della linea di produzione è in un'area che non è connesso direttamente con le postazioni manuali. Inoltre, deve essere integrato nella linea di produzione una stazione manuale e una stazione ibrida. Per soddisfare queste richieste esistono dei sistemi di trasporto con pallet, che portano il pezzo da lavorare da una stazione all'altra. Per realizzare il layout concepito sono state scelte due aziende con sistemi di trasporto che utilizzano tecnologie differenti.

Un produttore è Bosch Rexroth con il sistema di trasporto TS 2plus, mentre l'altro produttore è Montratec con il sistema di trasporto montrac. Il sistema TS 2plus ha due cinghie, tappeti o catene in continuo movimento con cui vengono trascinati grazie all'attrito i pallet. Il sistema di trasporto montrac utilizza invece ha degli shuttle che possiedono un'unità di azionamento; questo vuol dire che in ogni shuttle è presente un motore elettrico che è in grado di metterlo in moto.

Con entrambi i sistemi è possibile mettere in pratica il layout pianificato dal punto di vista tecnico. È possibile di far uscire il pallet o lo shuttle dalla linea di produzione in un sistema bypass. In Aggiuntivo è possibile di creare dei buffer. Entrambi i sistemi sono dotati di componenti, come unità di posizionamento e di arresto, per la movimentazione controllata dei pallet e degli shuttle tra le stazioni automatiche, quelle manuali e quelle ibride.

Sulla base di quanto detto è possibile affermare che entrambi i fornitori soddisfano il requisito di realizzare un collegamento flessibile. I due sistemi di trasporto TS 2plus e montrac sono costruiti in modo da essere molto compatto ed avere un'alta modularità. Esiste quindi la possibilità di realizzare una ricostruzione ed estensione futura della linea di produzione ed è inoltre possibile collegare le postazioni di lavoro esistenti con una piattaforma mobile. L'unità di comando e controllo del sistema di trasporto montrac è innovativa e molto orientata al futuro poiché permette di far agire, in maniera autonoma, i vari componenti del sistema lungo il percorso. Il costo dei due sistemi è simile e si aggira sugli 80.000 Euro.

7.3 English version

Industry 4.0 or the fourth industrial revolution is the driver of the future for industrial production. In contrast to the preceding three revolutions, which were called "industrial revolutions" in hindsight, Industry 4.0 got its name in advance. A lot of new technologies will find their way in to the production lines in the fourth industrial revolution. But

the communication and interaction between persons, machine and product will be at the core of the innovation.

To promote the concept of Industry 4.0 at an early stage, various institutions such as universities, schools, research institutes and company's setup so-called learning factories. The goal of learning factories is to gain experience early by creating environments that are close to reality. The theoretical knowledge should be used in a practical environment. Depending on the equipment of the learning factory laboratories, the trainees will be able to build up complete production lines.

The Free University of Bolzano too manages a learning factory, called Smart Mini Factory. The SMF is used for teaching purposes and also for research projects. It aims to study and simulate different modern and advanced concepts of production technologies and methods in the context of Industry 4.0.

The Smart Mini Factory has a considerable equipment of robots and manual workplaces. The problem is that the stations are not connected but separate. In order to simulate a production line that fulfills the concept of industry 4.0, there must be a possibility to link these stations flexibly.

An adaptable connection is needed for products with many variants that are produced in different lot sizes. So, the production line should be nearly cycle-independent and to fulfil this request, the line should integrate a manual and a hybrid workplace. Various systems of different manufacturers exist on the market that connect automated, manual and hybrid stations. These transfer systems use workpiece pallets or shuttles which go from station to station. The workpieces are fixed on these pallets.

Such a transfer system is necessary in the Smart Mini Factory. The aim is to connect the existing robots and the present manual workstations of Bosch Rexroth in the laboratory. The connection must be flexible. Several robots are collaborative and anthropomorphic. The area in the Smart Mini Factory reserved for the layout of the production line is not directly connected to the zone where the manual workstations are placed. In addition, both a manual and a hybrid workplace must be integrated in the production line. For the realization of the layout and to respect all the requirements, two manufacturers with different transfer systems are favored.

One manufacturer is Bosch Rexroth with the transfer system TS 2plus, the second manufacturer is Montratec with the transport system montrac. In the transfer system TS 2plus, the workpiece pallet is conveyed on two constantly moving belts by means of friction from station to station. Montrac on the other hand uses a drive unit on the shuttle and they are led by a monorail.

With both systems, it is possible to realize the planned layout in a technical way. Both systems are able to form buffers and it is possible to transfer the workpiece pallet outwards or the shuttle to a bypass where the manual and hybrid station are located. Furthermore, both systems have a technical setup that allows them to stop and position workpieces in the automated, manual and hybrid stations.

The conditions for a working flexible linkage are given. Both systems are compact and are very modular, therefore the production line can be converted or extended with the same components later on. Bosch Rexroth can additionally integrate the manual workplace in the mobile platform. The control of the montrac system is very innovative and future-oriented. It makes it possible to let the components act autonomously. The costs of the two systems are in the same range, they are about 80.000 Euro.

8 Begriffe, Definitionen und Abkürzungen

CAD	C omputer A ided D esign
ACE	A iuto alla C rescita E conomica
AR	A ugmented R eality
BMBF	B undes m inisterium für B ildung und F orschung
CAD	C omputer A ided D esign
CIM	C omputer- I ntegrated M anufacturing
CPPS	C yber- p hysische P roduktionss s ystem
CPS	C yber- p hysische S ystem
EU	E uropäische U nion
FTS	F ahrerlose T ransports s ysteme
IoT	I nternet o f T hings (Internet der Dinge)
IoTS	I nternet o f T hings and S ervices (Internet der Dinge und Dienste)
IRES	I mposta sul R Eddito delle S ocietà (Körperschaftsteuer)
IRI	I stituto per la R icostruzione I ndustriale (Institut für industriellen Wiederaufbau)
IT	I nformation s technik
M2M	M ensch z u M aschine
MMI	M ensch- M aschine I nteraktion
PMI	P iccole e M edie I mprese
RFID	R adio- F requency I dentification
SMF	S mart M ini F actory
TFO	T echnologische F ach o berschule
VR	V irtual R eality

9 Literaturverzeichnis

ABELE ET AL., 2015

Abele E., Metternich J., Tisch M., Chryssolouris G., Sihn W., ElMaraghy H., Hummel V., Ranz F.: Procedia CIRP 32 (2015) 1 - 6

AHRENS, 2014

Ahrens V.: Industrie 4.0 - Chancen und Risiken

AUTOMATIONSPRAXIS, 2014

Automationspraxis: <https://automationspraxis.industrie.de/news/systemhaus-des-monats/batteriemodul-montage-automatisiert/>

BAUERNHANS� ET AL., 2014

Bauernhansel T., Hompel M., Vogel-Heuser B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Fachmedien

BOSCH REXROTH, 2017

Bosch Rexroth Transfersystem TS 2plus: http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/download/index.jsp?object_nr=R999000395

BOSCH REXROTH a, 2018

Bosch Rexroth Arbeitsplatzsysteme: <https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktgruppen/montagetechnik/themen/manuelle-produktionssysteme/arbeitsplatzsysteme/index> (Stand 17.10.2018)

BOSCH REXROTH b, 2018

Bosch Rexroth Transfersystem TS 2plus: <https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktgruppen/montagetechnik/themen/transfersysteme/transfersystem-ts-2plus/index> (Stand: 17.10.2018)

BOSCH REXROTH c, 2018

Bosch Rexroth Transfersystem ActiveMover: <https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktgruppen/montagetechnik/news/transfersystem-activemover/index> (Stand: 17.10.2018)

BOSCH REXROTH d, 2018

Bosch Rexroth Angebot N° 18189_REV00 del 10/08/2018, Transfersystem TS 2plus

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2013

Bundesministerium für Bildung und Forschung: Umsetzungsempfehlung für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf S.23

DIAMOND, 2005

Diamond J.: Der Kollaps – Warum Gesellschaften überleben oder untergehen. Frankfurt: S. Fischer.

EL MARAGHY, 2014

ElMaraghy H., ElMaraghy W.: Learning Factories for Manufacturing Systems, 4th C. on Learning Factories, Stockholm.

ERBER und HAGEMANN, 2012

Erber G., Hagemann H.: Deutschlands Wachstums- und Investitionsdynamik nach der globalen Finanzkrise. DIW Wochenbericht (46), S. 12-22

EVERSHEIM, 1989

Eversheim W.: Organisation in der Produktionstechnik, Bd. 4 Fertigung u. Montage. Düsseldorf: VDI Verlag

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR OPTRONIK, SYSTEMTECHNIK UND BILDAUSWERTUNG IOSB, 2014

Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB: Industrie-4.0-Konzepte rütteln an der Automatisierungspyramide. <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/21752/Industrie-4.0-Konzepte%C3%BCtteln%20an%20der%20Automatisierungspyramide.pdf?command=downloadContent&filename=Industrie-4.0-Konzepte%C3%BCtteln%20an%20der%20Automatisierungspyramide.pdf>

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG IPA, 2015

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Lean Production meets Industrie 4.0: http://www.ipa.fraunhofer.de/lean_production_meets_industrie.html (Stand: 28.01.2015).

GÜNTHNER, 2006

Günthner W. A.: Materialfluss und Logistik. Vorlesungsskriptum: fml Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München.

HAHN, 2005

Hahn H.W.: Die industrielle Revolution in Deutschland. München: Oldenbourg

HANNOVER MESSE, 2018

Hannover Messe: <http://www.hannovermesse.de/de/news/top-themen/cobots/> (Stand: 05.10.2018)

INGENIEUR, 2018

Gretzinger N.: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/industrie40/industrie-4-0-grundlagen-und-aktuelle-entwicklung/> (Stand: 26.09.2018)

INITIATIVE ON EUROPEAN LEARNING FACTORIES, 2012

Initiative on European Learning Factories: General Assembly of the Initiative on European Learning Factories, Vienna.

JORGENSEN ET AL., 1995

Jorgensen J.E., Lamancusa J.S., Zayas-Castro J.L., Ratner J.: The Learning Factory. Proc. of the Fourth World Conference on Engineering Education: 1–7.

LAMANCUSA ET AL., 2008

Lamancusa J.S., Zayas J.L., Soyster A.L., Morell L., Jorgensen J.: The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning. Journal of Engineering Education 97(1): 5–11

LANDES, 1999

Landes D.: Wohlstand und Armut der Nationen. Berlin: Siedler Verlag

LOTTER, 1986

Lotter B.: Wirtschaftliche Montage: ein Handbuch für Elektrogerätebau und Feinwerktechnik. VDI-Verlag

LOTTER UND SCHILLING, 1994

Lotter B., Schilling W.: Manuelle Montage. Düsseldorf: VDI Verlag

LOTTER ET AL., 1998

Lotter B.: Manuelle Montage wirtschaftlich gestalten. Remmingen: Expert Verlag

LOTTER UND WIENDAHL, 2012

Lotter B., Wiendahl H. P.: Montage in der industriellen Produktion. Berlin: Springer-Verlag

LUETJENS, 2006

Das Konzept einer Lernfabrik. Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online. 10, Online unter: http://www.bwpat.de/ausgabe10/luetjens_bwpat10.pdf (Stand: 01.10.2018)

MICHALEK, 2017

Michalec R.: Was sind fahrerlose Transportsysteme? Definition & Vorteile. MMLogistik: <https://www.mm-logistik.vogel.de/was-sind-fahrerlose-transportsysteme-definition-vorteile-a-658199/> (Stand: 15.10.2018)

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO, 2017

Ministero dello Sviluppo Economico: http://www.governo.it/sites/governo.it/files/industria_40_MISE.pdf

MONTECH, 2018

Montech AG Transfersystem LT40: <https://montech.com/ch/de/shop/produkte/transfersystem-lt40> (Stand: 17.10.2018)

MONTRATEC, 2017

Montratec Transfersystem montec: https://www.montratec.de/fileadmin/user_upload/footer/montratec_Design_Guide_DE.pdf

MONTRATEC, 2018

Montratec Angebot vom 30.07.2018: Offerta Linea Demo Libera Università Bolzano

OMRON A, 2018

Omron: <https://industrial.omron.de/de/products/quattro> (Stand: 15.10.2018)

OMRON B, 2018

Omron, <https://industrial.omron.de/de/products/cobra> (Stand: 15.10.2018)

PRINZ ET AL., 2016

Prinz C., Morlock F., Freith S., Kreggenfeld N., Kreimeiera D., Kuhlenköttera B.,: Learning Factory modules for smart factories in Industrie 4.0. Procedia CIRP 54 (2016) 113 – 118

ROTH, 2016

Roth A.: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Berlin: Springer-Verlag

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM, 2016

Ruhr Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme: Die LPS Lernfabrik. [https://www.ruhr-uni-bochum.de/rub-igm/for-schung/LPS%20Lernfabrik Praesentation 20160301 v9.pdf](https://www.ruhr-uni-bochum.de/rub-igm/for-schung/LPS%20Lernfabrik%20Praesentation%2020160301_v9.pdf)

SACHWÖRTERBUCH, 1969

1969. Sachwörterbuch der Geschichte Deutschlands und der deutschen Arbeiterbewegung. Berlin: Dietz

SCHLIEßMANN, 2014

Schließmann A.: iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory. In: Bauernhansl, T., ten Hompel, M. und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 451-480.

SIEPMANN, 2016

Siepmann D.: Industrie 4.0 – Technologische Komponenten. IN: Roth A.: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Berlin: Springer Verlag, S. 47-73

SMART MINI FACTORY, 2018

Smart Mini Factory Labor der Freien Universität Bozen: <https://smartminifactory.it/de/> (Stand: 03.10.2018)

SODER, 2014

Soder, J.: Use Case Production: Vom CIM über Lean Production zu Industrie 4.0. In: Bauernhansl, T., ten Hompel, M. und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. München: Springer Vieweg, S. 85-102

SPINGLER UND BEUMELBARG, 2002

Spingler J. C., Beumelbarg K.: Automatisierungspotential-Analyse. wt Werkstattstechnik online 92(2002)

STEFFEN ET AL., 2013

Steffen M., Frye S., Deuse J.: Vielfalt Lernfabrik, Morphologie zu Betreibern, Zielgruppen und Ausstattungen von Lernfabriken im Industrial Engineering. https://www.researchgate.net/profile/Silke_Frye/publication/285906517_Vielfalt_Lernfabrik/links/59496e224585158b8fd5b309/Vielfalt-Lernfabrik.pdf

STEIN AUTOMATION, 2014

Stein Automation Transfersystem STEIN 300: [https://www.stein-automation.de/wp/wp-content/uploads/2014/10/Stein Produkt300 de 2014.pdf](https://www.stein-automation.de/wp/wp-content/uploads/2014/10/Stein_Produkt300_de_2014.pdf)

UNIVERSAL ROBOTS, 2018

Universal Robots: <https://www.universal-robots.com/de/produkte/ur3-roboter/>
(Stand: 15.10.2018)

VON LINDERN, 2017

Von Lindern J.: Handelsblatt: <https://www.handelsblatt.com/technik/hannover-messe/automatisierung-raus-aus-dem-kaefig/19709226.html?ticket=ST-9090640-2Lsk0daMRjbhQejNTzQN-ap3> (Stand: 21.10.2018)

WAGNER, 2012

Wagner U., AlGeddawy T., ElMaraghy H., Müller E.: The State-of-the-Art and Prospects of Learning Factories. Procedia CIRP 3:109–14.

WARNECKE, 1984

Warnecke: Der Produktionsbetrieb. Berlin: Springer Verlag

WIKIPEDIA, 2018

Industrie 4.0: https://de.wikipedia.org/wiki/Industrie_4.0 (Stand: 26.09.2018)

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kapitelübersicht.....	4
Abbildung 2: Industrielle Revolutionen, Treiber und Veränderungen (in Anlehnung an Bauernhansl et al., 2014).....	6
Abbildung 3: Entwicklung des CIM bis zur Industrie 4.0 (Ahrens, 2014).....	7
Abbildung 4: Komponenten der Industrie 4.0 (in Anlehnung an Roth, 2016).....	8
Abbildung 5: Aufbau Erfahrungswissen in Lernfabriken (Steffen et al., 2013).....	11
Abbildung 6: Roadmap der Industrie 4.0 Lernmodule (Ruhr Universität, 2016).....	12
Abbildung 7: Smart Mini Factory Labor der Freien Universität Bozen (Smart Mini Factory, 2018).....	13
Abbildung 8: Hauptförderband mit zwei Bypass Förderbänder (Lotter und Wiendahl, 2012).....	17
Abbildung 9: Typischer Verlauf der menschlichen Leistung in Prozent der Normalleistung (Lotter und Wiendahl, 2012).....	18
Abbildung 10: Sitz-Steharbeitsplatz (Bosch Rexroth a, 2018).....	19
Abbildung 11: Einsatzbereiche manueller, hybrider und automatischer Montagekonzepte (Lotter und Wiendahl, 2012).....	20
Abbildung 12: Arten und Formen hybrider Montagesysteme (Lotter et al., 1998).....	20
Abbildung 13: Batteriemodul-Montage automatisiert (Automationspraxis, 2014).....	21
Abbildung 14: Übersicht Fördermittel (in Anlehnung an Günthner, 2006).....	22
Abbildung 15: Smart Mini Factory Labor (Freie Universität Bozen): aktuelles Layout.....	25
Abbildung 16: Aktuelles Layout in 3D, Ausschnitte.....	26
Abbildung 17: Adept Quattro s650H parallel robot (Omron a, 2018).....	27
Abbildung 18: Adept Cobra i600 SCARA (Omron b, 2018).....	28
Abbildung 19: ABB IRB 120, anthropomorpher Roboter (Smart Mini Factory, 2018).....	29
Abbildung 20: Universal Robots UR3, kollaborativer Roboter (Universal Robots, 2018).....	30
Abbildung 21: Universal Robots UR10, kollaborativer Roboter (Smart Mini Factory, 2018).....	31
Abbildung 22: Kuka LBR iiwa (Smart Mini Factory, 2018).....	32
Abbildung 23: Bosch Rexroth Montagetische (Smart Mini Factory, 2018).....	32
Abbildung 24: Gerüst des Adept Quattro s650H parallel robot.....	33
Abbildung 25: Tisch mit Adept Cobra i600 SCARA Roboter.....	34
Abbildung 26: Sockel mit ABB IRB 120 Roboter.....	34
Abbildung 27: Tisch mit UR3 Roboter.....	35
Abbildung 28: Sockel mit UR10 Roboter.....	35
Abbildung 29: Kuka KMR iiwa Roboter.....	36
Abbildung 30: Skizze für Bypass-System mit UR3.....	36
Abbildung 31: SMF-Laborplan mit den verschiedenen Bereichen.....	37
Abbildung 32: Verschiedene Skizzen von Layouts: Die in Farbe Grün eingezeichneten Striche symbolisieren das Transfersystem.....	39
Abbildung 33: Bosch Rexroth Transfersystem TS 2plus (Bosch Rexroth, 2017).....	41
Abbildung 34: Stein Automation Transfersystem Stein 300 (Stein Automation, 2014).....	42
Abbildung 35: Montech Transfersystem LT40 (Montech, 2018).....	43
Abbildung 36: Montratec Transportsystem montec (Montratec, 2017).....	44
Abbildung 37: Vergleich Transfersysteme (Bosch Rexroth, 2017).....	46
Abbildung 38: Zulässige Gesamtmasse der Werkstückträger WT 2 und WT 2/H (Bosch Rexroth, 2017).....	47
Abbildung 39: Beispiel für ein Layout mit Nebenschlussplätzen (Bosch Rexroth, 2017).....	47
Abbildung 40: Zulässige Streckenlasten pro Centimeter (Bosch Rexroth, 2017).....	48
Abbildung 41: Einige Komponenten des Transfersystems TS 2plus (Bosch Rexroth, 2017).....	49
Abbildung 42: Finales Layout für Bosch Rexroth TS 2plus Transfersystem, grün symbolisiert das Transfersystem.....	50
Abbildung 43: Transfersystem TS 2plus im SMF-Layout (Bosch Rexroth d, 2018).....	51
Abbildung 44: 3D-Ansicht 1: Smart Mini Factory Labor mit TS 2plus Transfersystem von Bosch Rexroth.....	51
Abbildung 45: 3D-Ansicht 2: Smart Mini Factory Labor mit TS 2plus Transfersystem von Bosch Rexroth.....	52
Abbildung 46: Schnittansicht: Smart Mini Factory Labor mit TS 2plus Transfersystem von Bosch Rexroth.....	52
Abbildung 47: Bypass-System für den Roboter UR3 zum Herausnehmen im TS 2plus Transfersystem.....	53

Abbildung 48: Bypass-System Bosch Rexroth (Bosch Rexroth, 2017)	54
Abbildung 49: ABB IRB 120 auf drei Seiten eingeschlossen	55
Abbildung 50: Adept Quattro s650H parallel Roboter und UR10	56
Abbildung 51: Layout mit Zwei-Achsen parallel Roboter und Sicherheitstür	56
Abbildung 52: Shuttle des montrac Transportsystems (Montratec, 2017)	58
Abbildung 53: Monoschiene des montrac Transportsystems (Montratec, 2017)	58
Abbildung 54: Kurve des montrac Transportsystem (Montratec, 2017)	59
Abbildung 55: Draufsicht: Smart Mini Factory mit Transfersystem montrac	60
Abbildung 56: Transfersystem montrac von der Firma Montratec im SMF-Layout (Montratec, 2018) ..	61
Abbildung 57: 3D-Ansicht 1: Smart Mini Factory Labor mit montrac Transfersystem von Montratec ...	61
Abbildung 58: 3D-Ansicht 2: Smart Mini Factory Labor mit montrac Transfersystem von Montratec ...	62
Abbildung 59: Schnittansicht: Smart Mini Factory Labor mit montrac Transfersystem von Montratec .	62
Abbildung 60: Modul Tracswitch des Transfersystems montrac (Montratec, 2017)	63
Abbildung 61: Bypass-System mit integriertem Roboter UR3 im montrac Transfersystem.....	64
Abbildung 62: Supotrac Modul für die manuelle Montage (Montratec, 2017)	64
Abbildung 63: Positioningunit Modul für die Positionierung am Roboter (Montratec, 2017)	65
Abbildung 64: Layout des montrac Transportsystem im Smart Mini Factory Labor	66
Abbildung 65: Gegenüberstellung der Anforderungen der favorisierten Transfersysteme.....	68
Abbildung 66: Gegenüberstellung Kosten der beiden favorisierten Transfersysteme.....	70

11 Anhang

- A1 Angebot Bosch Rexroth Nr. 18189 Rev00 vom 10.08.2018
- A2 Angebot Montratec vom 30.07.2018
- A3 Plan IST-Layout
- A4 Plan SOLL-Layout TS 2plus
- A5 Plan SOLL-Layout montrac

Bosch Rexroth S.p.A.
S. S. Padana Superiore 11, n. 41
I – 20063 Cernusco s/N MI
Tel. +39 02 92365.1
Fax +39 02 92365. 500
www.boschrexroth.it

Spett.le
Libera Università di Bolzano
Alla c.a. del Prof.re Artur Wieser
artur.wieser@unibz.it
Facoltà di Scienze e Tecnologie
Piazza Università, 5
39100 - Bolzano

Rexroth
Bosch Group

Riferimento: Luigi Conte (DCET/SLI1-IT)

19 agosto 2018

Tel. +39(348)7809063,

e-mail luigi.conte@boschrexroth.it

INDICAZIONE di PREZZO N° 18189_REV00 del 10/08/2018

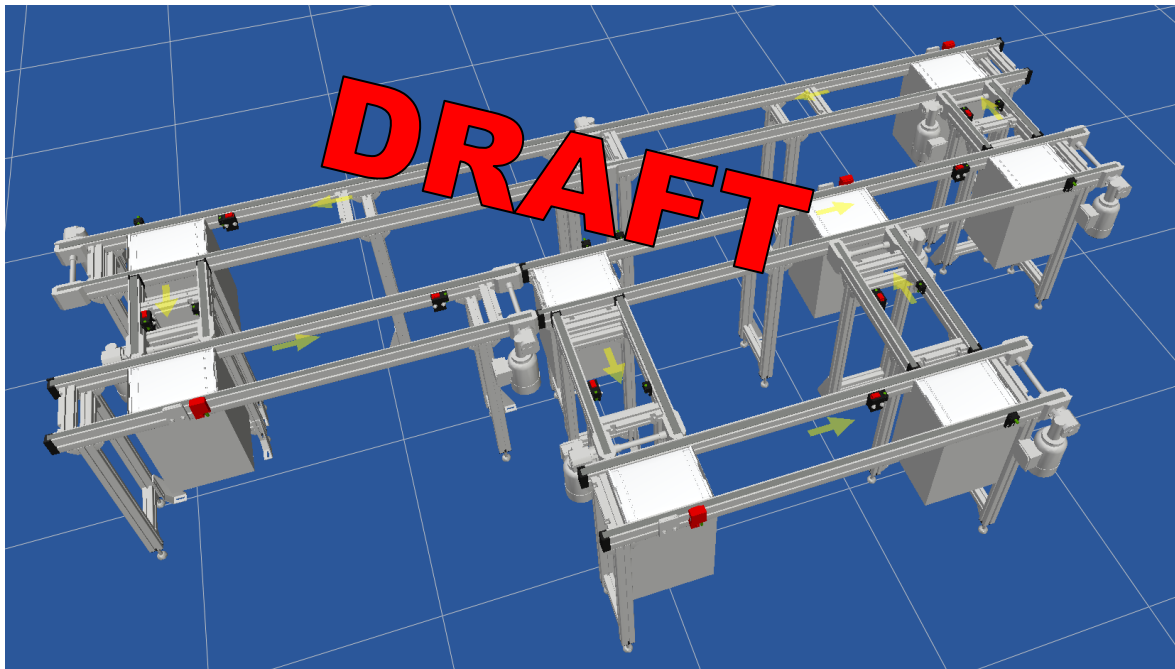
Avvertenza:

Il presente documento non integra offerta contrattuale bensì rappresenta una mera indicazione di prezzo, approssimativa e priva di impegni a dare seguito a prestazioni tecniche e/o economiche. Il contratto di vendita si intenderà valido ed efficace solo alle condizioni riportate sulle conferme d'ordine emesse da Bosch Rexroth S.p.A.

Saremo lieti di approfondire in seguito e più in dettaglio tutte le prestazioni richieste, nonché i limiti di fornitura per:

Bosch Rexroth "Drive and Control Technology"

FORNITURA SITEMA DI TRASPORTO TS2 per VS. LAB. DIDATTICO



Premessa:

si richiede la fornitura chiavi in mano di un sistema di trasporto a pallet da inserire in un laboratorio didattico dove sono già presenti 6/7 stazioni automatiche costituite da robot antropomorfi e sistemi cartesiani.

Per venire incontro alla specifica richiesta di modularità del sistema, l'intero trasporto è costituito da blocchi funzionali ed autonomi, nello specifico tratti denominati **BS2** e facenti parte della tecnologia di trasporto BoschRexroth "TS2 plus". I moduli di trasporto a nastro sono già montati di fabbrica ed hanno lunghezza e larghezza configurabile a piacere*, sono affiancabili sia longitudinalmente che trasversalmente, per costituire il layout desiderato.

L'eventuale modifica del layout richiederà dunque una redistribuzione dei tratti, piuttosto che l'aggiunta o la rimozione di alcuni di essi.

** I tratti a nastro BS2 possono essere configurati con una larghezza variabile da $b=160\text{mm}$ min a $b=1200\text{mm}$ max; ed una lunghezza variabile da $L=240\text{mm}$ min a $L=6000\text{mm}$ max.*

Il carico max che ogni tratto di BS2 può trasportare è di 60kg.

1.0.0 SEPARATAMENTE VENGONO QUOTATE LE SEGUENTI VOCI :

- 1.1.0 Fornitura chiavi in mano dell'intera linea di trasporto completa di pallet e supporti tratto e di tutti gli accessori e sensoristica per la gestione del ricircolo dei pallet nella linea. (unità di svincolo, stop pallet, sensori e portasensori)
- 1.2.0 Sistema RFID 200 per l'identificazione e memoria dei dati composto da supporto dati mobili, antenne e moduli di comunicazione, adatto per applicazioni con memoria dati sia centrale che decentralizzata.
(per approfondimento si veda lo specifico catalogo "RFID-3842541006_vers4.1.PDF" allegato alla presente offerta)
- 1.3.0 Componentistica per l'indexaggio pallet in stazioni di lavoro automatiche
- 1.4.0 Componentistica per lavorazioni manuali o semi-automatiche su pallet in stazioni di lavoro manuali.
- 1.5.0 Costo di 1 tratto BS2 da mettere su Robot mobile

19 agosto 2018

Pagina 2 di 7

1.1.0 Fornitura linea completa

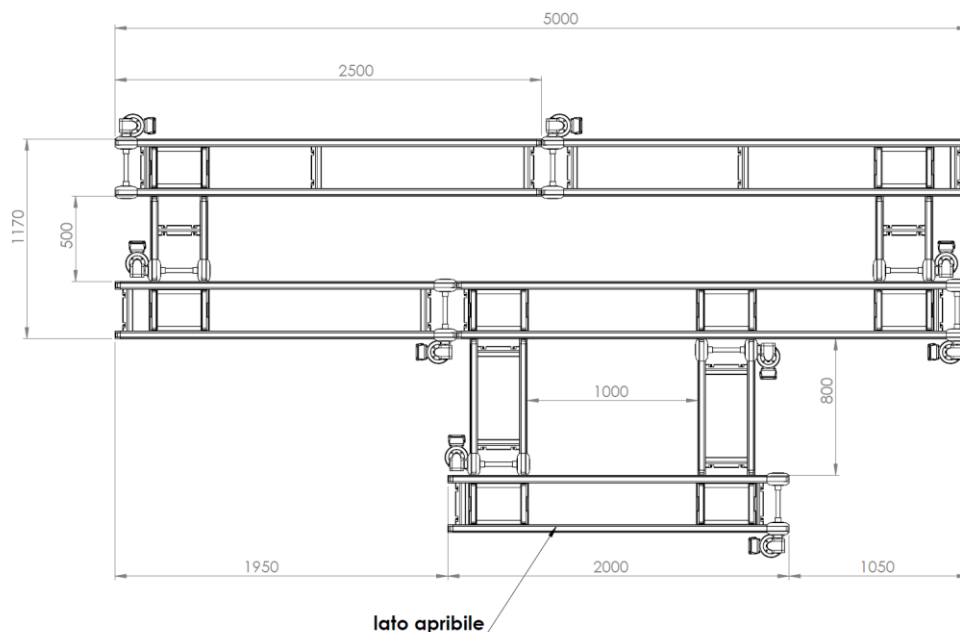


Fig. 1 – quote di massima del layout linea.

La fornitura comprende:

- N. 9 Moduli **BS2** a cinghia dentata configurati come segue -
B= 320mm; V=12m/min; U=400V; F=50HZ (da confermare)
Quota di scorrimento pallet = 1000mm
- N. 12 **Pallet WT2** 320mm x 320mm
- N. 21 Supporti tratto **SZ2**
- N. 8 Unità di svincolo **HQ2/U** per passaggio pallet da tratti longitudinali a tratti trasversali e viceversa
- N. 4 arresti **WT 2**
- N. 4 bilancieri **W/M**
- N. 5 porta interruttori **SH2/S**
- N. 4 porta interruttori **SH2/U**
- N. 8 porta interruttori **SH2/UV**
- N. 37 sensori induttivi M12
- Ferramenta varia per assemblaggio moduli BS2 e fissaggio dei supporti a pavimento

Il tratto BS2 indicato sopra come tratto apribile, verrà predisposto con un apposito chiavistello per poterlo svincolare dalla linea al fine di accedere velocemente all'area interna al bypass, e ripristinare poi il funzionamento corretto della linea

NB: le unità di svincolo, gli stop pallet ed ogni altro accessorio sono montabili direttamente sui moduli della linea e posizionabili a piacere lungo le cave dei tratti BS2.

Indicazione di Prezzo preventivato punto 1.1.0 € 76.680,48

1.2.0 RFID-200 PER IDENTIFICAZIONE E MEMORIA DATI

Viene valutata di seguito la componentistica per la fornitura del sistema RFID200 dimensionato per n. 6 OP posizionate lungo la linea e così composto:

- N. 12 SUPPORTO DATI MOBILE ID 200 MDT 1/2K-H (a bordo pallet)
- N. 6 SET DI MONTAGGIO ID 200
- N. 6 ANTENNA ID 200 /A-HF (13,56 MHz)
- N. 6 CAVO ANTENNA ID 200/K-ANT2-2M
- N. 3 MODULO DI COMUNICAZIONE ID 200 /C-ETH
- N. 3 CAVO DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA ID 200/K-VCC-5M
- N. 3 CAVO ETHERNET ID 200/K-ETH M12 - 5M

Indicazione di Prezzo preventivato punto 1.2.0 €5.577,91

1.3.0 INDEXAGGIO PALLET IN OP-AUTOMATICHE

Viene valutata di seguito la componentistica per indexaggio pallet all'interno di una stazione automatica, quindi con tolleranze di: $\pm 0,1\text{mm}$ e forza di reazione max $F=300\text{N}$.

(Sono disponibili unità di posizionamento con forze F di reazione crescenti fino ad un max di 3500N , oppure con il totale disaccoppiamento delle forze di processo e lo scarico delle stesse direttamente a terra.)

Componenti per ciascuna stazione automatica:

- N. 1 UNITÀ DI POSIZIONAMENTO PE 2
- N. 1 SET PER RILEVAMENTO DELLA POSIZIONE PE 2
- N. 2 sensori induttivi M12 per la posizione della PE2
- N. 2 SINGOLARIZZATORE VE 2
- N. 2 PORTA INTERRUETTORE SH 2/UV
- N. 1 PORTA INTERRUETTORE SH 2/S
- N. 3 sensori induttivi M12 per la logica della stazione

NB: la logica di funzionamento prevede che per ogni OP, oltre all'unità di posizionamento ed orientamento completa di sensoristica, vi siano almeno 2 singolarizzatori (1 in stazione ed 1 appena fuori) e 3 sensori (1 per ciascun singolarizzatore ed 1 in stazione per la presenza pallet)

Indicazione di Prezzo preventivato punto 1.3.0 €. 1.504,42 = per ogni OP

1.4.0 FERMATA IN POSIZIONE SEMPLICE PER OP MANUALE

Viene valutata di seguito la componentistica per lo stop pallet all'interno di una stazione manuale o semi-automatica, quindi con tolleranze di: $\pm 0,5\text{mm}$ e nessuna forza di reazione.

Componenti per ciascuna stazione automatica:

- N. 1 GUIDA INTERNA PALLET
- N. 2 SINGOLARIZZATORE VE 2
- N. 2 PORTA INTERRUETTORE SH 2/UV
- N. 1 PORTA INTERRUETTORE SH 2/S
- N. 3 sensori induttivi M12 per la logica della stazione

Indicazione di Prezzo preventivato punto 1.4.0 €. 401,25 =per ogni OP

1.5.0 TRATTO BS2 DA METTERE SU ROBOT MOBILE

BS2 configurata come segue:

- L= 1000mm;
- b=320mm
- V=12m/min;
- U=400V;
- F=50HZ

Senza riduttore ma con il solo riduttore, in modo da poter montare un motore con batteria a 24V
non di nostra fornitura

Indicazione di Prezzo preventivato punto 1.5.0 €. 2.099,34

2.0.0 BORDO MACCHINA

Tutto quanto ciò che è stato descritto al capitolo 1.0.0 verrà preventivamente montato e collaudato prima di essere installato presso la Vostra sede in Bolzano.

Il montaggio sarà completo di bordo macchina elettrico e pneumatico fino ad un quadro realizzato per l'alloggiamento di tutte le EV di comando dei vari stop pallet ed accessori linea. All'interno dello stesso quadro di comando sarà predisposta una morsettiera per il cablaggio elettrico della sensoristica e delle EV di comando, **dal quale sarà di Vostra competenza l'interfacciamento ad un PLC e QE per il successivo controllo e gestione della linea che , al momento, non è oggetto della fornitura.**

In caso di collegamento in Bus di campo si richiede di specificare il protocollo.

3.0.0 DOCUMENTAZIONE

A corredo della fornitura verranno forniti tutti i manuali della componentistica standard BoschRexroth e disegni di assieme con individuazione, tramite esplosi con pallinatura e distinta base, dei sottogruppi di cui è composta la linea con i vari accessori montati.

4.0.0 SICUREZZA: GESTIONE DEL SERVIZIO DI PREVENZIONE E PROTEZIONE E COSTO RELATIVO ALLA SICUREZZA – legge 81 del 2008 –

L'attività comprende :

- Distribuzione dell'analisi dei rischi da Voi elaborata e consegnata (come previsto dalla legge 81/2008)–
- Preparazione, trasmissione, gestione, presso la Vs. sede, della documentazione necessaria alla richiesta dei permessi d'ingresso e dei relativi sub-appalti, ove necessari.
- Formazione del ns. personale circa i rischi residui del luogo di lavoro.
- Materiali e D.P.I. in q.tà sufficiente al completamento delle attività.

Costo complessivo di quanto descritto €. 2.000,00

**NOTA : IL COSTO RELATIVO ALLA SICUREZZA NON POTRA' ESSERE
OGGETTO DI RIBASSO D'ASTA O TRATTATIVA BILATERALE -**

19 agosto 2018

Pagina 6 di 7

5.0.0 ESCLUSIONI E LIMITI DI FORNITURA :

- Movimentazione dei materiali e loro custodia c/o il cantiere
- Modifiche di qualsiasi genere sulla linea
- Tutti i sistemi di carteratura/impedimento accesso a protezione delle stazioni speciali e della linea
- Quadro Elettrico
- PLC
- Software di controllo e gestione
- Tutto ciò che non è espressamente dichiarato
- **Per qualsiasi ulteriore attività richiesta, non espressamente menzionata nella presente indicazione di prezzo, Bosch Rexroth emetterà regolare offerta**

6.0.0 GARANZIA

12 mesi dalla consegna per merce resa f.co ns. sede, risultante difettosa all'origine e non manomessa. Per i materiali non di nostra costruzione i termini di garanzia sono quelli applicati dalle rispettive case costruttrici. Sono esclusi dalla garanzia i particolari di normale consumo o deterioramento, la mano d'opera per lo smontaggio ed il montaggio dei pezzi sostituiti. Tutto il materiale è conforme alla normativa CE. Bosch-Rexroth S.p.A non risponde dell'errato utilizzo normativo e/o funzionale dei materiali forniti.

La garanzia riguarda, a ns. discrezione, la sostituzione o la riparazione del materiale. In caso di accettazione del reclamo le spese di rispedizione saranno a nostro carico. Gli interventi di ns. personale presso lo stabilimento del cliente finale per la verifica di componenti difettosi, indipendentemente dall'accettazione della garanzia, verranno addebitati secondo il tariffario in vigore al momento della richiesta.

CONDIZIONI DI FORNITURA - Proposta tecnica rif. N° 18189_REV00

Prezzi	:	Netti IVA esclusa
Consegna	:	12 Settimane da Data Ricevimento Ordine e condivisione finale delle specifiche tecniche.
Imballo	:	compreso
Spedizione	:	a mezzo Vostro
Collaudo	:	Vedi Item specifico
Garanzia	:	Vedi ITEM specifico
Norme applicate	:	La fornitura in oggetto è soggetta alla marcatura del fabbricante e non potrà essere messa in servizio prima di essere completata e/o incorporata in un insieme più complesso e dotato dei dispositivi di sicurezza previsti in conformità ai requisiti essenziali di sicurezza delle relative direttive applicabili. 2006/42/CE – allegato II – punto 1 – lett. B
Assistenza	:	ESCLUSA
Validità offerta	:	30 gg.
Documentazione	:	Standard Bosch-Rexroth Italiano/Tedesco.
Esclusioni	:	vedi item specifico.
Pagamento	:	Solito in uso.

Ringraziamo per la gradita richiesta e cogliamo l'occasione per porgervi distinti saluti.

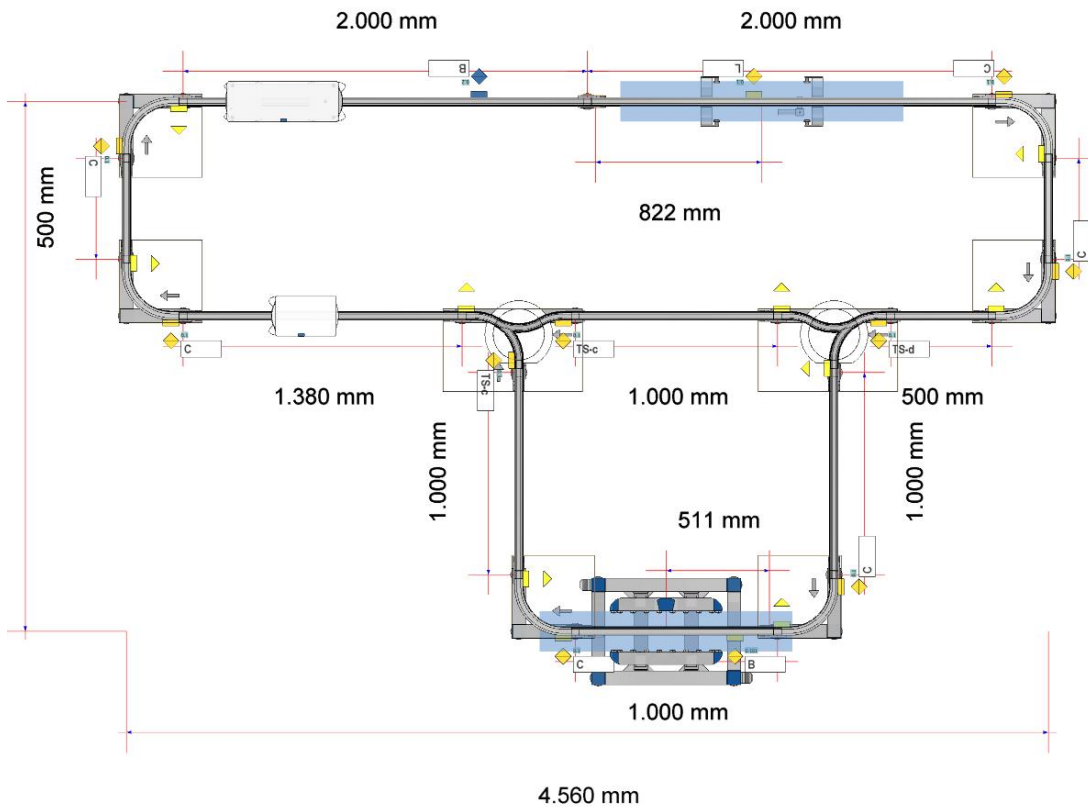
Bosch Rexroth S.p.A.

Luigi Conte



Company	Libera Università di Bolzano	Tel. direct	+39 0471 017018
	Facoltà di Scienze e Tecnologie	Fax Center	
Name Surname	MG100027 Artur Wieser		
Address	Piazza Università, 1		
ZIP code, city	39100 Bolzano (BZ)		
Country	IT		

Date of issue	30/07/2018	Phone	+39 335 640 6900
Creator	Marco Giacumbo	E-mail	m.giacumbo@montratec.com



montratec GmbH

Johann-Liesenberger-Str. 7 | 78078 Niedereschach | Germany | Phone: +49 7728-9260-0 | Fax: +49 7728-9260-6810 | www.montratec.com | automation@montratec.com
 CR: Freiburg | HRB 716784 | Managing Directors: Sven Worm, Martin Claussen, Christian Krinner | Tax ID number: DE 815697757
 Unicredit (ú) | IBAN: DE72 6802 0186 0024 4588 22 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357
 Unicredit (CHF) | IBAN: DE82 6802 0186 0025 1438 50 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357

Article		Quantity	Price	Amount
Trac				
Trac L=460 mm	MT56926/0460	3	185.48	556.45
Trac L=960 mm	MT56926/0960	4	253.18	1012.74
Trac L=1340mm	MT56926/1340	1	304.64	304.64
Trac L=1960 mm	MT56926/1960	2	388.58	777.17
				2650.99
Trac-Connection				
TracLink L=40 mm	MT65682	19	99.00	1881.00
				1881.00
TracCurve				
TracCurve 90° inside	MT56095	6	296.00	1776.00
				1776.00
TracSwitch				
TracSwitch (collect left)	MT58734-CL/R	1	3679.00	3679.00
TracSwitch (divide left)	MT58734-DL/R	1	3679.00	3679.00
				7358.00
Accessories TracSwitch and TracCrossing				
TracSwitch or TracCrossing configuration (montratec service)	MT56935	2	139.00	278.00
				278.00
PositioningUnit				
PositioningUnit PU4-S550M400	MT65094	1	2068.00	2068.00
				2068.00
Support				
SupoTrac for platform width 200 and 300, with ShuttleLock (300x550)	MT56933	1	769.00	769.00
				769.00

Intelligent Routing Module (IRM)

montratec GmbH

Johann-Liesenberger-Str. 7 | 78078 Niedereschach | Germany | Phone: +49 7728-9260-0 | Fax: +49 7728-9260-6810 | www.montratec.com | automation@montratec.com

CR: Freiburg | HRB 716784 | Managing Directors: Sven Worm, Martin Claussen, Christian Krinner | Tax ID number: DE 815697757

Unicredit (ú) | IBAN: DE72 6802 0186 0024 4588 22 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357

Unicredit (CHF) | IBAN: DE82 6802 0186 0025 1438 50 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357

Article		Quantity	Price	Amount
Basic Kit (IRM) - Function: Lock	MT56937	1	103.00	103.00
Curve Kit (IRM) - Function: Curve	MT56938	6	135.00	810.00
Double Module Kit (IRM) - Function: Collecting Switch without priority	MT56939	1	179.00	179.00
Double Sensor Kit (IRM) - Function: Dividing Switch	MT56940	1	212.00	212.00
IRM Basic (with Y-Cable, AB- & A-Cam)	MT56936	12	312.00	3744.00
Basic Kit (IRM) - Function: Basic	MT56937	2	103.00	206.00
				5254.00
Accessories IRM				
IRM configuration (montratec service)	MT56944	10	122.00	1220.00
				1220.00
Shuttle				
M1-SH-CW-L300-1-1WD-TC1	MT61712	1	2999.00	2999.00
M1-SH4-CW-L550-2-2WD-TC1	MT61717	1	4999.00	4999.00
				7998.00
Workpiece Platform				
Platform 200x550x15 with 4 inserts for Shuttle	MT56948	1	399.00	399.00
Platform 200x300x15 with 4 inserts for Shuttle	MT91677	1	219.00	219.00
				618.00
Accessories for Workpiece Platform				
Prism for Workpiece Platform (incl. drawing)	MT46300	2	49.00	98.00
				98.00
TracSet Frameworks				
TS-Framework type T with FW	MT56584-1000	2	924.00	1848.00
1-Foot-support for TracLink with FW	MT56817-1000	1	244.00	244.00
TS-Framework type L with FW	MT56818-1000	6	809.00	4854.00
TS-Framework for PU4 B=200 mm	MT65395	1	1611.00	1611.00
				8557.00
Accessories				
Proximity switch M8, PNP pluggable	EB-000002810-000	9	13.20	118.80

montratec GmbH

Johann-Liesenberger-Str. 7 | 78078 Niedereschach | Germany | Phone: +49 7728-9260-0 | Fax: +49 7728-9260-6810 | www.montratec.com | automation@montratec.com

CR: Freiburg | HRB 716784 | Managing Directors: Sven Worm, Martin Claussen, Christian Krinner | Tax ID number: DE 815697757

Unicredit (ú) | IBAN: DE72 6802 0186 0024 4588 22 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357

Unicredit (CHF) | IBAN: DE82 6802 0186 0025 1438 50 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357

Article		Quantity	Price	Amount
Connecting cable 5 m with plug angled, M8x1	MT504929	9	19.00	171.00
Proximity switch ø6.5 mm, PNP with cable	MT508842	1	43.00	43.00
Proximity switch M8, PNP with cable and plug M8	MT520292	1	119.00	119.00
				451.80
Gross []				40977.79

montratec GmbH

Johann-Liesenberger-Str. 7 | 78078 Niedereschach | Germany | Phone: +49 7728-9260-0 | Fax: +49 7728-9260-6810 | www.montratec.com | automation@montratec.com
 CR: Freiburg | HRB 716784 | Managing Directors: Sven Worm, Martin Claussen, Christian Krinner | Tax ID number: DE 815697757
 Unicredit (ú) | IBAN: DE72 6802 0186 0024 4588 22 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357
 Unicredit (CHF) | IBAN: DE82 6802 0186 0025 1438 50 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357

Sales and Delivery Conditions

All prices are net, Free Carrier (FCA Incoterms® 2010) DE-78078 Niedereschach, without packaging, transportation, insurance, custom duties, taxes etc.

Terms of payment:

40% by confirmation of the order

60% by delivery, 14 days net

Deliveries and services are made based on agreed schedules and the receipt of the agreed payments.

The period of warranty is 12 months from date of delivery without shifts limitation. Wear-and-tear parts are not included in the warranty.

This quotation is not binding.

The General Terms and Conditions of Delivery of the montratec GmbH are binding. These can be read and downloaded under www.montratec.com on the internet any time.

The output tax / VAT is levied at the time of delivery in the respective statutory amount.

.

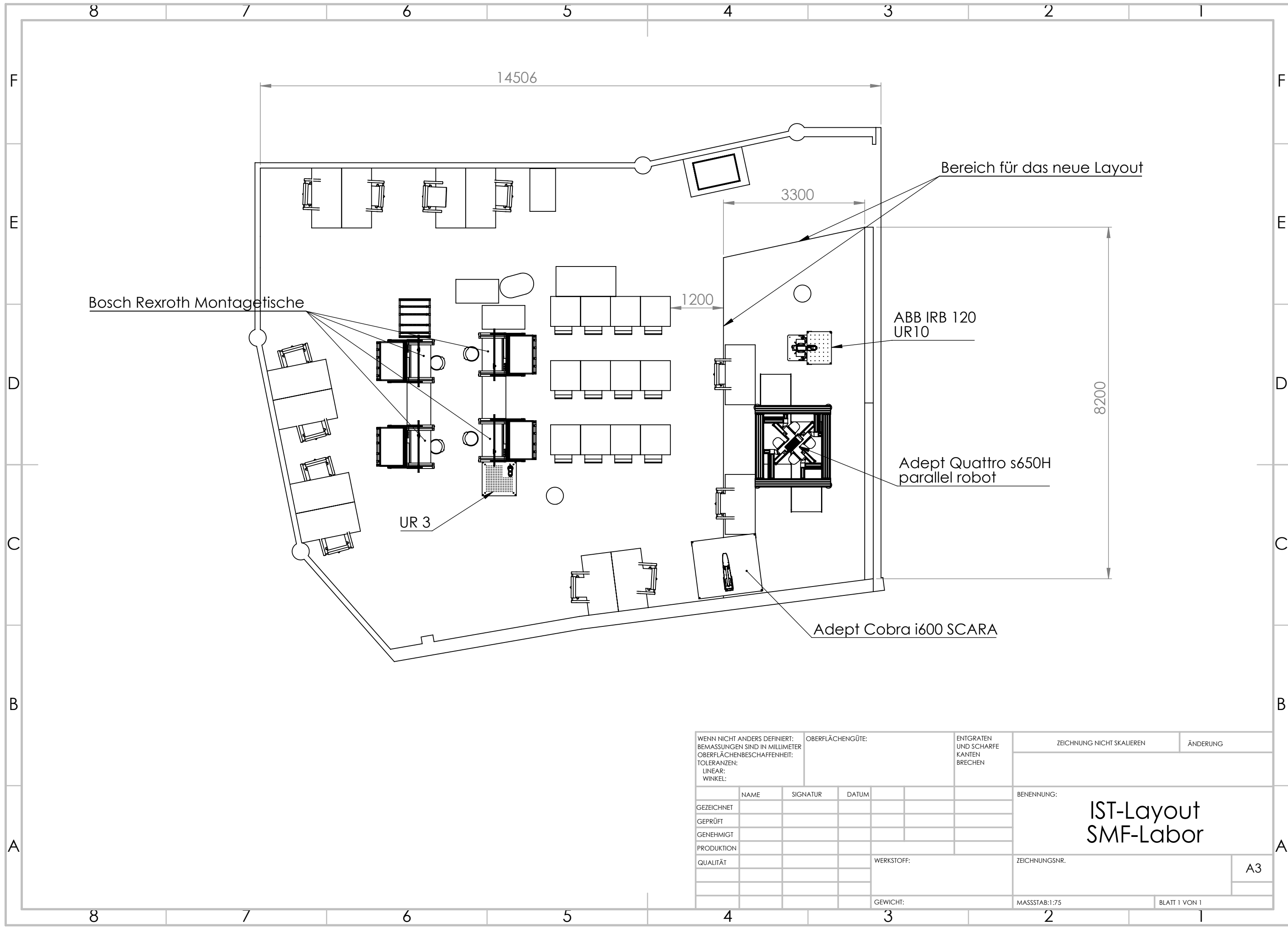
montratec GmbH

Johann-Liesenberger-Str. 7 | 78078 Niedereschach | Germany | Phone: +49 7728-9260-0 | Fax: +49 7728-9260-6810 | www.montratec.com | automation@montratec.com

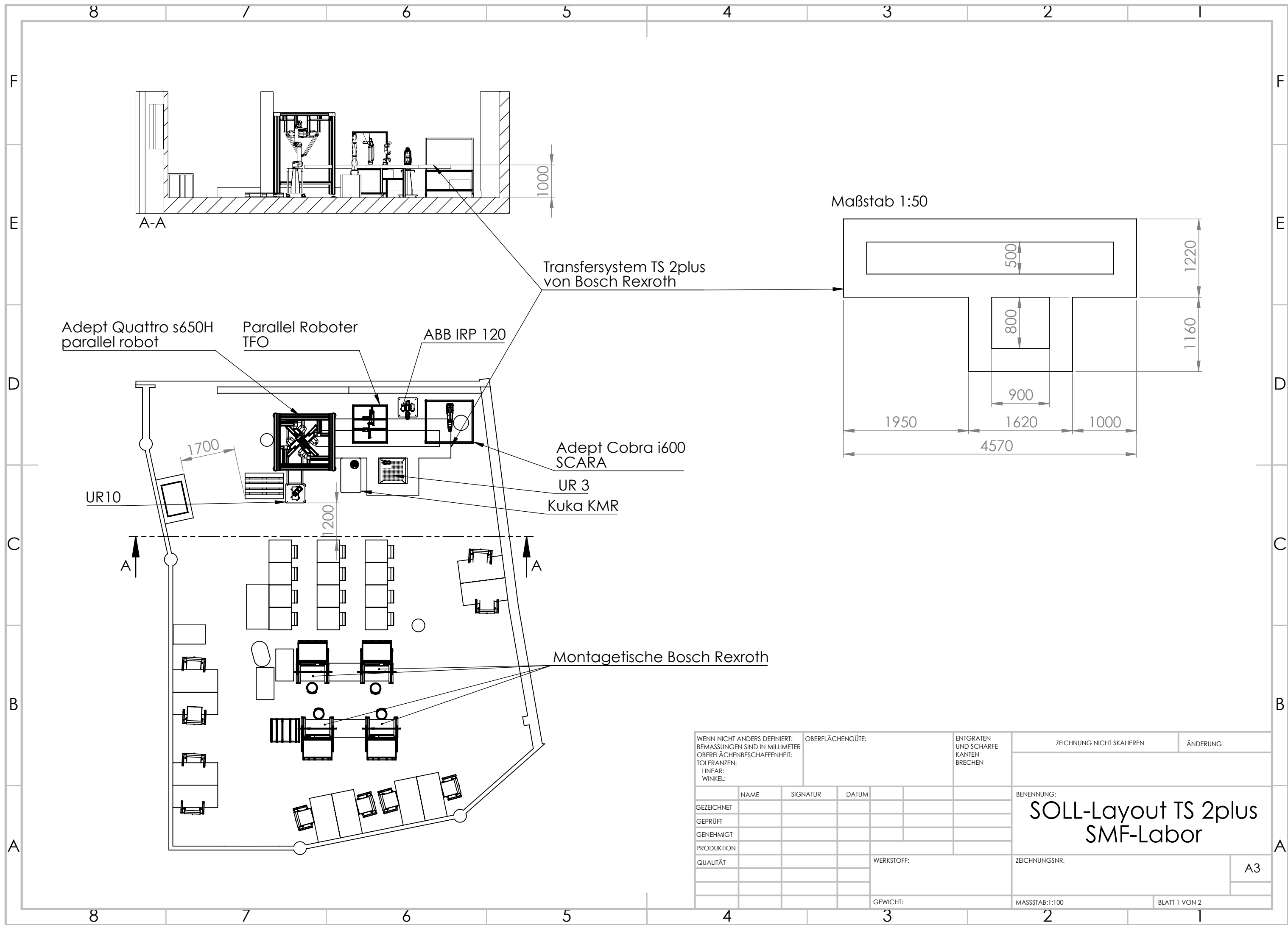
CR: Freiburg | HRB 716784 | Managing Directors: Sven Worm, Martin Claussen, Christian Krinner | Tax ID number: DE 815697757

Unicredit (ú) | IBAN: DE72 6802 0186 0024 4588 22 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357

Unicredit (CHF) | IBAN: DE82 6802 0186 0025 1438 50 | BIC/SWIFT: HYVEDEMM357



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:				OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN	ÄNDERUNG
				NAME	SIGNATUR	DATUM			
GEZEICHNET							BENENNUNG: IST-Layout SMF-Labor		
GEPRÜFT									
GENEHMIGT									
PRODUKTION									
QUALITÄT							WERKSTOFF:		ZEICHNUNGSNR.
									A3
							GEWICHT:		MASSSTAB:1:75
									BLATT 1 VON 1



Transfersystem TS 2plus
von Bosch Rexroth

Maßstab 1:50

Adept Quattro s650H
parallel robot

Parallel Roboter
TFO

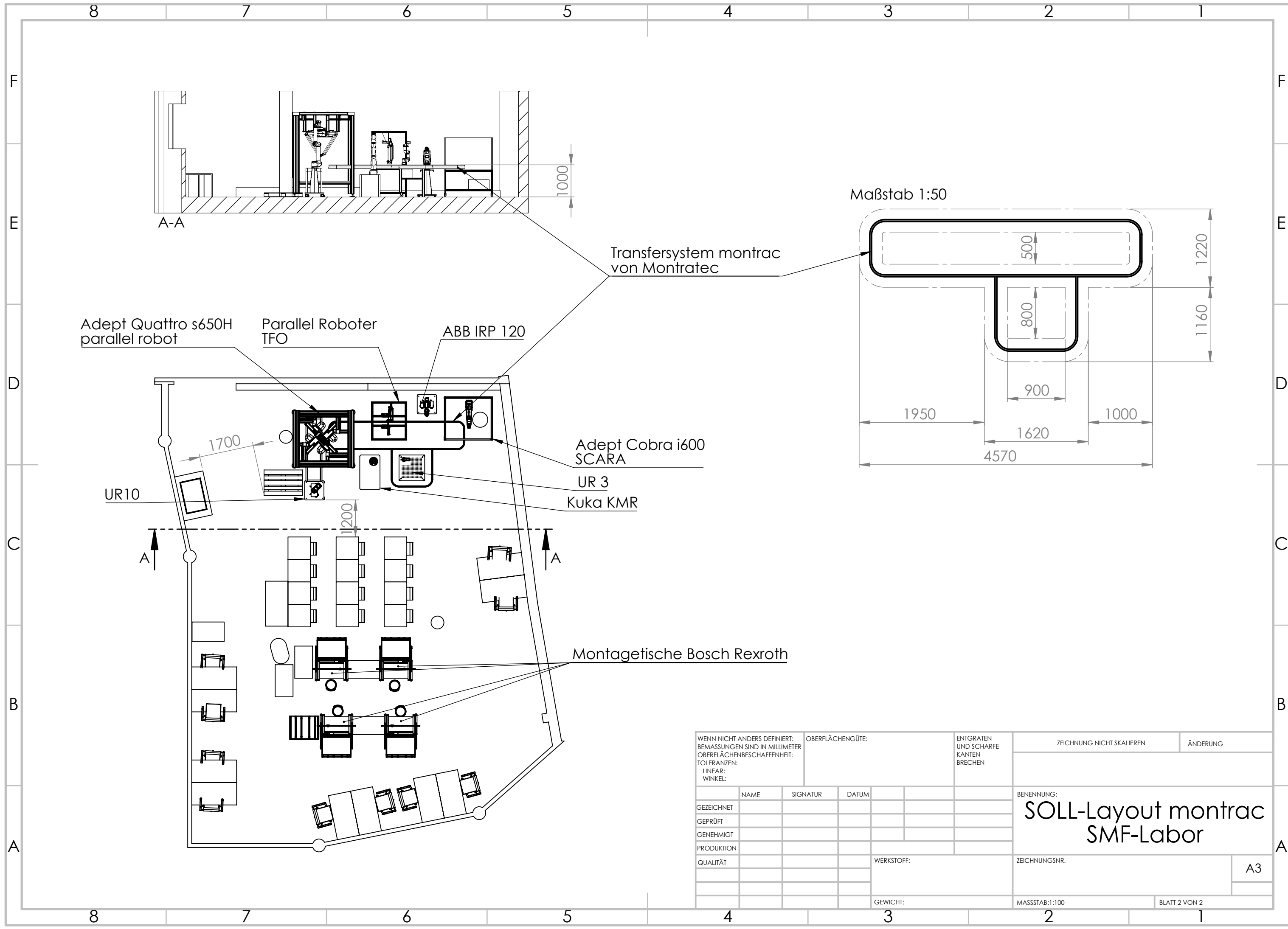
ABB IRP 120

Adept Cobra i600
SCARA

UR 3
Kuka KMR

Montageteische Bosch Rexroth

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:				OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN	ÄNDERUNG
				NAME	SIGNATUR	DATUM			
GEZEICHNET							BENENNUNG: SOLL-Layout TS 2plus SMF-Labor		
GEPRÜFT									
GENEHMIGT									
PRODUKTION									
QUALITÄT							WERKSTOFF:		ZEICHNUNGSNR.
									A3
							GEWICHT:		MASSSTAB:1:100
									BLATT 1 VON 2



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:				OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN	ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN		ÄNDERUNG		
	NAME	SIGNATUR	DATUM				BENENNUNG: SOLL-Layout montrac SMF-Labor				
GEZEICHNET											
GEPRÜFT											
GENEHMIGT											
PRODUKTION											
QUALITÄT				WERKSTOFF:			ZEICHNUNGSNR.				A3
				GEWICHT:			MASSSTAB:1:100			BLATT 2 VON 2	