



# Diplomarbeit

## Virtuelle Inbetriebnahme einer flexiblen Fertigungszelle Modellierung aller Komponenten einer flexiblen Fertigungszelle mit Robotersimulation und Darstellung in Virtual Reality

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Master of Science unter der Leitung von

**Ao.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Kittl**

(Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik)

**Proj.Ass. Dipl.Ing. Florian Pauker**

(Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Tamás Bánsági**

1025699 (E 066 445)

Siebenbrunnengasse 26/12

1050 Wien

Wien, im März 2017

---

Tamás, Bánsági

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einen Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im März 2017

---

Tamás Bánsági

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit wäre ohne der Hilfe und Unterstützung vieler Personen nicht möglich gewesen. Daher möchte ich an dieser Stelle jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung maßgeblich zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt Prof. Dr. Kittl für die freundliche Hilfsbereitschaft beim Auswählen des Themas der Diplomarbeit. Außerdem möchte ich mich dafür bedanken, dass er mich mit seiner äußerst kollegialen Art in die Welt der Fertigungstechnik eingeführt hat.

Ganz besonders möchte ich mich bei Univ.Ass.Dipl.-Ing. Florian Pauker bedanken. Er führte mich hervorragend in das Thema der Masterarbeit ein, unterstützte mich stets geduldig mit fachkundigem Rat und motivierte mich bei jeder Besprechung mit seinem wertvollen Feedback.

Ebenfalls möchte ich mich herzlich bei meinen Studienkollegen Paul Hoffmann, Marius Schasching, Johann Kogler, Karl Mondl und Matti Felsner bedanken, die mich mit viel Geduld und Hilfsbereitschaft durch die Höhen und Tiefen des gesamten Studiums begleitet haben.

Besonderer Dank gilt auch meiner Freundin Elisabeth Karaca. Mein Dank gilt ihren aufmunternden Worten in schwierigen Zeiten und ihrem moralischen Rückhalt während des gesamten Studiums. Ebenfalls bedanken möchte ich mich für das unermüdliche und fachlich kompetente Korrekturlesen der Arbeit.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere bei meinen Eltern bedanken, die mich in allen Lebenslagen unterstützen und mir stets mit Rat und Tat zur Seite stehen.

## Kurzfassung

Der Markt der Zukunft ist durch oftmalige, unvorhersehbare Veränderungen und einem aggressiven Konkurrenzkampf auf globaler Ebene bestimmt. Diese modernen Umwälzungen bedeuten für die Fertigungstechnik den Beginn einer neuen Ära. In der Produktionshalle der Zukunft soll ein weites Spektrum an Werkstücken vom selben Band laufen können. Bereits in der heutigen Zeit müssen moderne Fabriken rasch und ohne großen Investitionsaufwand auf Änderungen am Produkt reagieren können. Eine Möglichkeit, um diese konträren Forderungen an die Industrie zu erfüllen, ist die Einführung von flexiblen Fertigungssystemen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Auslegung, Modellierung und virtuelle Inbetriebnahme einer flexiblen Fertigungszelle. Dabei wird bei der Auslegung darauf geachtet ein modernes System zu konzipieren, welches die geforderte Flexibilität einer zukünftigen Fertigung erfüllen kann. Um auch eine zukunftsorientierte Technik im Bereich der Planung einzubringen, wird die Zelle mit mehreren Arten für Virtual-Reality-Anwendungen modelliert. Mit Hilfe dieser Zelle sollen im Rahmen der Pilotfabrik der TU Wien zukünftige Trends in der Fertigungstechnik präsentiert werden. Ziel ist es durch die verwendeten neuartigen Technologiekonzepte eine effizientere und kostengünstigere Realisierung im Bereich der flexiblen Fertigung aufzuzeigen. Die Pilotfabrik soll StudentInnen außerdem die Möglichkeit bieten, ihr gelerntes Wissen an realen Maschinen zu erproben.

Am Ende der Arbeit ergibt sich ein Gesamtentwurf, der die flexible Fertigungszelle repräsentiert. Dieser kann dann für eine weitere, genauere Planung verwendet werden. Durch die Simulation der Roboterwege wird eine erste virtuelle Inbetriebnahme durchgeführt. Gleichzeitig kann dieser Entwurf der Zelle dann auch mit Hilfe von Virtual Reality vorgeführt werden, um Außenstehenden die Pläne und Ideen von der Realisierung der Fertigungszelle besser näherbringen zu können.

## Abstract

The market of the future is characterized by frequent, unpredictable changes and an aggressive competition on a global scale. In these times of radical changes manufacturing technology is on the verge of technical revolution. Future factories should be able to produce a huge variety of products on the same production line. Already in the present days big manufacturing companies have to be able to react fast and cost effective to changes on their products. One way to overcome these manufacturing paradigms of the future, would be to introduce flexible manufacturing systems to production lines.

This thesis describes the designing process, modelling and the virtual commissioning of a flexible manufacturing cell. Particular attention during the design process was paid to planning the cell as a modern system, which can comply with the needed flexibility of the future demands. To show some technical possibilities during the planning stage of a modern project, the manufacturing cell is also modelled in virtual reality. With the aid of this manufacturing cell, in the framework of the “Pilotfabrik” of the TU of Vienna, futuristic trends in the field of production technology should be demonstrated. The aim is to show a way, how a flexible manufacturing cell can be realized cost effectively and more efficiently with the implementation of new, innovative technologies. Furthermore the “Pilotfabrik” will offer students the possibility to apply their gained theoretical skills on real machines.

At the end of this thesis an overall design of the manufacturing cell is presented. This will be used at a later stage of the planning process, for finishing the last details of the cell. The simulation of the handling-robot gives a first idea, how the cell will function and it is also used to check if the cell configuration has been planned correctly. In addition the manufacturing cell can be shown in virtual reality to outsiders, who are not engaged with the project. Thus the ideas and plans behind the realization of the flexible cell can be shown in a futuristic and immersive way.

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung .....	II
Danksagung.....	III
Kurzfassung .....	IV
Abstract.....	V
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1 Aufgabenstellung.....	1
1.2 Zielsetzung .....	1
1.3 Gliederung und Vorgehensweise der Arbeit .....	2
<b>2 THEORETISCHER TEIL UND HINTERGRUNDINFORMATIONEN .....</b>	<b>4</b>
2.1 Flexible Fertigungszellen.....	4
2.2 Vorgehensmodelle zur Produktenwicklung .....	6
2.2.1 Wasserfallmodell.....	7
2.2.2 V-Modell .....	8
2.2.3 Spiralmodell .....	10
2.2.4 Verwendetes Modell für die Arbeit .....	13
2.3 Unterschied zwischen Virtual Reality, einer virtuellen Tour und Augmented Reality .	14
2.3.1 Virtual Reality .....	14
2.3.2 Virtuelle Tour.....	15
2.3.3 Augmented Reality.....	15
2.4 Einsatzgebiete von Virtual Reality und Augmented Reality in der Industrie .....	16
2.4.1 Virtual Reality und Augmented Reality in der Industrie 4.0 .....	16
2.4.2 Ausbildung .....	17
2.4.3 Planung/Produktentwicklung.....	18
2.4.4 Präsentation .....	18
2.4.5 Wartung/Reparatur .....	20
2.4.6 Logistik.....	20
2.4.7 Marketing .....	21
<b>3 AUSLEGUNG DER FERTIGUNGSZELLE .....</b>	<b>23</b>
3.1 Anforderungsanalyse .....	23
3.2 Vorgegebene Ziele und Konzepte.....	23
3.3 Grundkonzept der Fertigungszelle .....	24
3.4 Frageliste zur Fertigungszelle .....	26

3.5	Gewichten der Anforderungen .....	27
3.6	Funktionsstruktur der Fertigungszelle .....	27
3.6.1	Blackboxmodelle .....	28
3.6.2	Morphologischer Kasten .....	31
3.7	Gliedern in realisierbare Module .....	32
<b>4</b>	<b>BESCHREIBUNG DER GEWÄHLTEN LÖSUNGSVARIANTEN.....</b>	<b>34</b>
4.1	Komponenten zur Wersktückbearbeitung .....	34
4.1.1	MaxxMill 500 .....	34
4.1.2	IGM-Schweißzelle .....	34
4.2	Komponenten für das Materialhandling.....	35
4.2.1	Palettenumlaufspeicher .....	35
4.2.2	Roboter .....	35
4.2.3	Roboterkupplung.....	37
4.3	Spannmittel.....	37
4.3.1	Palette .....	37
4.3.2	Nullpunktspannsystem.....	38
4.3.3	Spannmittel für die Werkstücke .....	39
4.4	Sicherheit.....	40
<b>5</b>	<b>SIMULATION .....</b>	<b>41</b>
5.1	Arbeiten in „SolidWorks“ .....	41
5.1.1	Importieren von Modellen und Anpassen der Modelle für die Simulation .....	41
5.1.2	Erstellen des Zellenlayouts .....	42
5.2	Vorbereitung der Simulation in „RobotStudio“ .....	42
5.2.1	Import der Modelle .....	42
5.2.2	Erstellen eines Roboterwerkzeuges .....	43
5.2.3	Platzieren der Zellkomponenten .....	45
5.3	Simulation in „Robot Studio“.....	47
5.4	Auswertung der Simulation .....	52
5.4.1	Platzierung der Zellkomponenten .....	52
5.4.2	Bestimmung der Roboterwege .....	52
5.4.3	Kollisionsanalyse .....	53
5.4.4	Messen der Zykluszeiten des Roboters.....	53
5.4.5	Präsentation der Zelle.....	54
<b>6</b>	<b>MODELLIERUNG DER FERTIGUNGSZELLE IN VIRTUAL REALITY .....</b>	<b>55</b>

6.1	Modellierung als 360-Grad-Bild.....	55
6.1.1	Vorbereitung .....	55
6.1.2	Verwendete Software.....	55
6.1.3	Erstellen eines 360-Grad-Panoramas .....	56
6.1.4	Erstellen eines stereoskopischen 360- Grad- Panoramas .....	57
6.2	Erstellen einer begehbaren Virtual-Reality-Umgebung der Fertigungszelle .....	59
6.2.1	Vorbereitungen .....	59
6.2.2	Bewegung in der virtuellen Realität .....	59
6.2.3	Erstellen des Programmes.....	61
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>66</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>68</b>
<b>9</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>77</b>
<b>11</b>	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>80</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit umfasst die Auslegung, Simulation und Darstellung in Virtual Reality einer flexiblen Fertigungszelle für die Pilotfabrik der TU Wien. Nach dem Auswählen geeigneter Komponenten und dem groben Aufbau der Zelle sollen die Abläufe in der Fertigungszelle simuliert werden und dadurch eine effiziente Platzierung der Zellkomponenten ermöglicht werden. Dabei soll anhand der virtuellen Inbetriebnahme ebenfalls geprüft werden, welche Roboter und welche anderen Komponenten für die Zelle verwendet werden können. Des Weiteren soll die Zelle in einer Virtual-Reality-Umgebung modelliert werden.

## 1.2 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Auswahl eines Vorgehensmodells für die Zellauslegung
- Einteilung der Zelle in unterschiedliche Subkomponenten
- Auswahl der Zellkomponenten und Grundaufbau der Zelle
- Simulation des Handling-Roboters
- Darstellung der flexiblen Fertigungszelle in Virtual Reality

Das erste Ziel dieser Arbeit ist es, den Verlauf der Planung einer flexiblen Fertigungszelle durch ein Vorgehensmodell zu vereinfachen, mit der die Auslegung effektiver durchgeführt werden kann. Dabei sollen aus unterschiedlichen Modellen die wichtigsten Punkte herausgefiltert und zu einem eigenen, individuellen Ablauf verknüpft werden. Mit diesem Vorgehen sollen spätere, planungsrelevante Probleme verhindert und die Zeit bis zur Inbetriebnahme minimiert werden.

Als nächstes Ziel soll die komplette Zelle in unterschiedliche Komponenten unterteilt werden. Dies ist notwendig, da die komplexe Gesamtheit der flexiblen Fertigungszelle zuerst in kleine Submodule zerlegt werden muss, um sich mit den einzelnen Bauteilen im Detail befassen zu können. In diesem Schritt sollen auch gleichzeitig unterschiedliche Lösungen für die mögliche Verwirklichung der Komponenten gefunden werden. Dabei ist es noch nicht wichtig ob die gefundenen Resultate auch tatsächlich eine relevante Lösung darstellen, vielmehr soll eine Auflistung an Möglichkeiten gegeben werden.

Im Anschluss daran, soll als nächstes Ziel die Auswahl der Zellkomponenten erfolgen. Aus den bereits gefundenen Lösungen, soll hierbei jeweils die beste Variante für die flexible Fertigungszelle ausgewählt werden. Wurden die besten Möglichkeiten für den Aufbau der Zelle gefunden, soll die komplette Zelle, mit diesen ausgewählten Bauteilen als CAD-Modell abgebildet werden. Dieses CAD-Modell soll dann als Grundlage für die Simulation und die Modellierung in Virtual Reality dienen. Es dient aber auch als Voraussetzung für die nächsten Stufen der Auslegung der Zelle, welche in anderen Arbeiten behandelt werden. Eine weiterführende Arbeit könnte zum Beispiel die Konstruktionstätigkeiten für Komponenten bilden, welche in diesem frühen Stadium der Planung noch nicht genau ausgewählt werden können.

Ein weiteres Ziel ist es die Zelle mit „ABB RobotStudio“ zu simulieren. Diese Simulation soll noch nicht die endgültigen Abläufe, die in der flexiblen Fertigungszelle passieren werden, abbilden. Stattdessen soll sie dazu dienen, ein erstes Layout der Zelle zu erstellen. Dabei soll auch überprüft werden, ob eine Beladung der Fräsmaschine mit dem gewählten Roboter überhaupt möglich ist. Mit der Simulation soll ebenfalls ein Werkzeug geschaffen werden, um die Fertigungszelle grundlegend zu präsentieren.

Die fertig zusammengestellte Zelle soll zum Schluss in einer Virtual-Reality-Umgebung vorgeführt werden können. Dabei soll dem Betrachter das Gefühl der Immersion in die Zelle bestmöglich vermittelt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, soll deshalb eine Möglichkeit gefunden werden, dem Betrachter die Möglichkeit zu geben, sich in der virtuellen Zelle frei zu bewegen. Gleichzeitig soll die virtuelle Vorführung der flexiblen Fertigungszelle keine komplizierte Hardware erfordern, um eine schnelle und bequeme Präsentation zu ermöglichen.

### **1.3 Gliederung und Vorgehensweise der Arbeit**

Diese Arbeit ist in folgende Kernthemen aufgeteilt:

1. Theoretischer Teil und Hintergrundinformationen
2. Auslegung der Fertigungszelle
3. Beschreibung der gewählten Lösungsvarianten
4. Simulation
5. Modellierung der Fertigungszelle in Virtual Reality
6. Zusammenfassung und Ausblick

Im ersten Hauptkapitel wird an das Thema der Arbeit herangeführt indem die theoretischen Grundlagen zu den Kernthemen erläutert werden. Es wird gezeigt für was der Begriff einer flexiblen Fertigungszelle steht, es werden unterschiedliche Methoden zur Projektplanung vorgestellt. Zusätzlich werde die Begriffe Augmented Reality und Virtual Reality erklärt und ihre Verwendung wird anhand Beispielen in der heutigen Industrie erläutert.

Im zweiten Hauptkapitel werden die Anforderungen an die Zelle und die zu erfüllenden Funktionen definiert. Es werden die wichtigsten Informationen für eine optimale Auslegung der flexiblen Fertigungszelle gesammelt. Die Gliederung der Zellenauslegung erfolgt dabei grob angelehnt an die wichtigsten Punkte des „Generellen Vorgehens beim Entwickeln und Konstruieren“ aus der „VDI-Richtlinie VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ (vgl. [1], S.9).

Das dritte Hauptkapitel befasst sich mit den gefundenen Lösungen für den Aufbau der Fertigungszelle. Hier werden die Eigenschaften der verschiedenen Komponenten erläutert und es wird erklärt wieso die jeweilige Lösung gewählt wurde.

Im Kapitel „Simulation“ wird der Modellierungsprozess der Zelle anhand unterschiedlicher Programme gezeigt. Gleichzeitig bietet dieses Kapitel eine Anleitung, um Simulationen in „RobotStudio“ zu erstellen.

Im fünften Hauptkapitel werden Methoden vorgestellt um eine Umgebung in Virtual Reality darzustellen. Dabei wird die Fertigungszelle als Panoramabild und als stereoskopisches Bild modelliert und es wird eine Virtual-Reality-App für Mobiltelefone erstellt, welches BenutzerInnen auch erlaubt sich in der virtuellen Umgebung zu bewegen.

Das letzte Hauptkapitel gibt einen Überblick über die Endergebnisse und soll die wichtigsten Erkenntnisse, die aus der Arbeit gewonnen wurden, aufzählen.

## 2 Theoretischer Teil und Hintergrundinformationen

### 2.1 Flexible Fertigungszellen

Um die gegenteiligen Forderungen der modernen Zeit nach einer hohen Produktivität bei gleichzeitig hoher Flexibilität gut erfüllen zu können, wurden flexible Fertigungszellen entwickelt. Die Eigenschaft der Flexibilität bezeichnet dabei ein Attribut, welches die Funktionalität eines Systems erhöht. Die Erhöhung der Flexibilität kann dabei quantitativer oder qualitativer Art sein (vgl. [2], S.8). Unterschiedliche Möglichkeiten der Flexibilitätserhöhung sind:

- Produktflexibilität
- Ablauflexibilität
- Verfahrenflexibilität
- Mengenflexibilität
- Funktionsflexibilität
- Geometrieflexibilität

Bei einer flexiblen Fertigungszelle ergibt sich die erhöhte Flexibilität dadurch, dass unterschiedlich gestaltete Werkstücke in der Zelle mit verschiedenen Bearbeitungsverfahren gefertigt werden können (vgl. [3], S.184). Dabei lässt sich die Reihenfolge der Bearbeitung frei gestalten. Grundsätzlich ist die Flexibilität durch die Art der Geometrie (hier werden Fertigungszellen für prismatische und rotationssymmetrische Teile unterschieden) und der Abmessungen des Werkstückes begrenzt. Das Konzept moderner Fertigungszellen ist auf die Anforderungen der Einzel-, Kleinserien-, insbesondere der Ersatzteil- und der Teilefamilienfertigung zugeschnitten (vgl. [4], S.222).

Eine flexible Fertigungszelle besteht grundsätzlich aus einem Bearbeitungszentrum, bei dem der Material- und Informationsfluss so automatisiert sind, dass verschiedene Werkstücke automatisch bearbeitet werden können (vgl. [5], S.1131). Eine flexible Fertigungszelle kann aber auch aus einem Bearbeitungszentrum mit einer Kombination mehrerer CNC-Maschinen oder einer CNC-Maschine und einer weiterverarbeitenden Maschine zusammengestellt werden. Unter der Weiterverarbeitung kann zum Beispiel die Reinigung, Beschichtung oder Montage der Werkstücke verstanden werden. Werkstücke werden in einer Fertigungszelle nacheinander bearbeitet oder montiert. Dabei erfolgt die Material- und Werkstückzufuhr zu den Maschinen automatisch. Dieser Verbund von Fertigungsgeräten wird in einem Raum aufgestellt, welcher als Zelle bezeichnet wird. Alle Abläufe in diesem Raum werden dann von einem

Zellrechner gesteuert. Da zu jeder Zeit sichergestellt werden muss, dass genügend Rohteile, Werkzeuge und Vorrichtungen für eine unterbrechungsfreie Fertigung vorhanden sind, weisen die Steuerungen solcher Zellen einen hohen Komplexitätsgrad auf (vgl. [5], S.1082).

Der Einsatz flexibler Fertigungszellen erfolgt heute vor allem in metallverarbeitenden Betrieben aus unterschiedlichen Branchen, wie z.B. Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie und deren Zulieferern, Verkehrstechnik oder der blechverarbeitenden Industrie (vgl. [4], S.223).

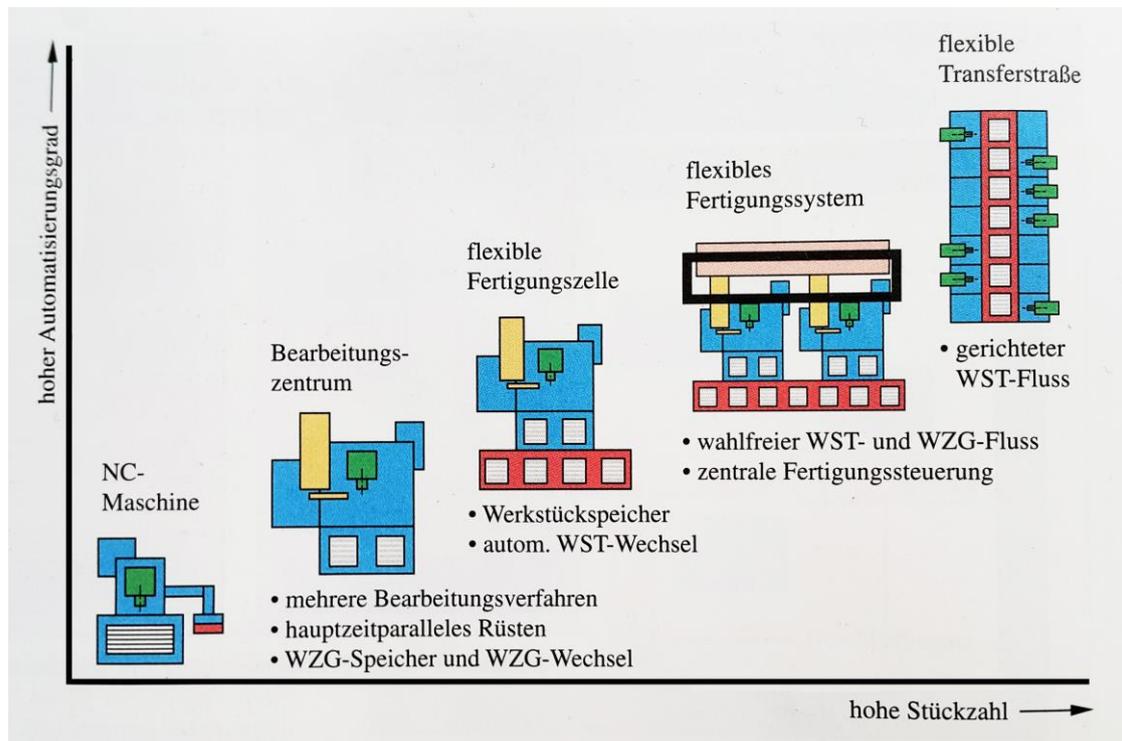


Abbildung 1: Einteilung der Fertigungssysteme

In Abbildung 1 ist ersichtlich welche Produktivität, gekoppelt mit welchem Automatisierungsgrad, unterschiedliche Maschinensysteme mit sich bringen. Dabei sei angemerkt, dass eine flexible Fertigungszelle auch ein Mehrmaschinensystem sein kann. Im Gegensatz zu einem flexiblen Fertigungssystem werden hierbei jedoch Werkstücke nicht parallel sondern nacheinander bearbeitet. Außerdem sind flexible Fertigungssysteme überwiegend für Großserien interessant.

Die wesentlichen Vorteile einer flexiblen Fertigungszelle sind (vgl. [3], S.185):

- Eine verbesserte Kapazitätsausnutzung der Maschinen durch eine präzise Abstimmung des Materialflusses und des Informationssystems
- Ein verringerter Personalbedarf aufgrund der hohen Automatisierung
- Eine Verkürzung der Durchlaufzeiten von Aufträgen und die damit verbundene Senkung der gebundenen Umlaufmittel

Die Vergangenheit hat gezeigt, dass eine erhöhte Automation aufgrund der steigenden Komplexität ab einem gewissen Grad nicht mehr rentabel ist. Deshalb ist bei der Entwicklung moderner, flexibler Fertigungszellen ein deutlicher Trend zur anwendungsspezifischen flexiblen Automation absehbar. Das bedeutet, dass die Systeme auf ein überschaubares Teilespektrum mit einer eingeschränkten Zahl an Werkstückvarianten ausgelegt werden. In der Vergangenheit wurde versucht Systeme zu schaffen, welche vollkommen automatisiert sind, kaum Personal benötigten und ein Teilespektrum von mehreren hundert unterschiedlichen Werkstücken fertigen konnten. Die Komplexität dieser Anlagen führte jedoch häufig zu hohen Ausfallzeiten, zudem waren das Bedien- und Servicepersonal oft von der Mächtigkeit dieser Systeme überfordert. Deshalb wird in modernen Zellen versucht ein Over-Engineering zu vermeiden. Obwohl technisch schon sehr viel möglich wäre, ist das wirtschaftlich Sinnvolle in den Vordergrund getreten. So wird meistens auf eine Vollautomatisierung verzichtet und stattdessen das Personal vermehrt in die Bedienprozesse miteinbezogen. Flexible Fertigungszellen von heute sind durch mehr menschliche Interaktion, weniger Platzbedarf und geringere Kosten gekennzeichnet (vgl. [4], S.223).

## 2.2 Vorgehensmodelle zur Produktenwicklung

Die Forschung im Gebiet der Fertigungstechnik versucht seit Jahrzehnten die Produktivität und die Qualität der Erzeugnisse stetig weiter zu verbessern. Zu den wichtigsten Werkzeugen für diese Entwicklung zählen verschiedene Modelle, die vorgeben, wie ein Planungsprozess effektiv verlaufen kann.

Folgende Gründe sprechen für die Verwendung solcher Vorgehensmodelle (vgl. [6], S.2):

- Komplexe Fertigungssysteme können dank der systematischen Unterteilung in kleinere Untermodule besser verstanden werden
- Der standardisierte Aufbau der Modelle führt zu einer effektiveren Kommunikation zwischen AuftragsgeberInnen, IngenieurInnen und ManagerInnen
- Der Umfang von Großprojekten kann besser abgeschätzt werden

- Die PlanungsmitarbeiterInnen können sich bei einem Großprojekt an einer Vorgabe orientieren und verlieren so den Überblick nicht
- Teilziele und Meilensteine können gesetzt werden
- Durch die Dokumentation, die jede Vorgehensmethode mit sich bringt, können Projekte besser verglichen und analysiert werden.
- Die Planung fertiggestellter Anlagen kann durch die komplette Dokumentation als Vorlage für neue Vorhaben genutzt werden

### 2.2.1 Wasserfallmodell

Das Wasserfallmodell ist ein strikt linear verlaufender Ansatz bei dem die unterschiedlichen Stufen des Projektes einzeln und nach der Reihe durchlaufen werden. Änderungen können nur an der unmittelbar vorhergehenden Phase vorgenommen werden. Falls ein Problem in einem Abschnitt auftritt, kann später nicht an die bereits durchgeführten Entwicklungen dieser Stufe angeknüpft werden. Stattdessen wird das Projekt zu der Etappe, in der sich der Fehler befindet, zurückgesetzt. Nach der Behebung des Problems beginnt die Entwicklung wieder ausgehend von dieser Stelle (vgl. [6], S.4).

Eine mögliche Form eines Wasserfallmodells ist in Abbildung 2 dargestellt.

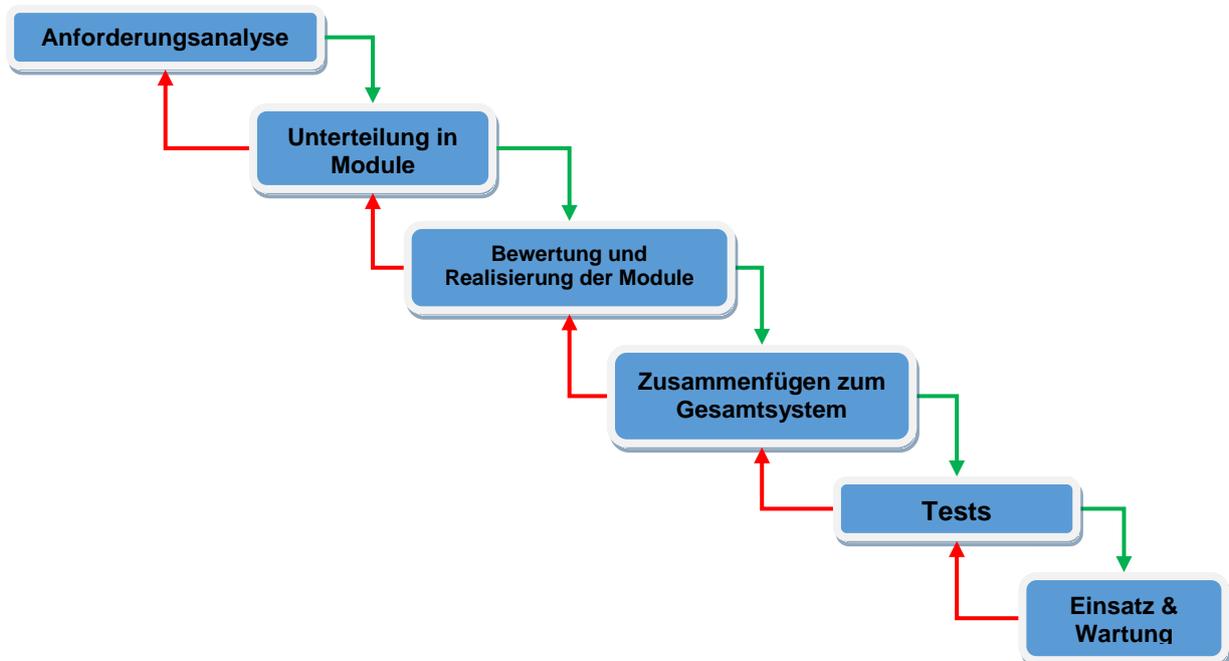


Abbildung 2: Wasserfallmodell

Es ist zu erkennen, dass das Wasserfallmodell ein sehr einfaches, leicht zu verstehendes und anwendbares Modell ist. Phasen werden einzeln abgearbeitet und die Abschnitte überlappen sich nicht. Aufgrund dieser Einfachheit und Starrheit des Modells ist der Managementaufwand gering. Diese Methode der Prozessplanung ist der Ursprung aller späteren Vorgehensmodelle. Somit hat sie wesentlich zu einem sichtbaren, kontrollierbaren und planbaren Prozessablauf beigetragen.

Obwohl die Einfachheit des Modells ein Vorteil ist, stellt dies auch gleichzeitig den größten Nachteil dar. Der strikt lineare Verlauf erweist sich in der Praxis als unvorteilhaft und ist nicht im Sinne einer effektiven Prozessplanung. Einzelne Stufen sind bei einem realen Projekt nicht klar voneinander getrennt und es ist unpraktisch, wenn nur eine Phase des Projektes bearbeitet werden darf. Durch die eingeschränkte Möglichkeit abgeschlossene Etappen nachträglich zu ändern, ist das Wasserfallmodell äußerst unflexibel. Bei der Planung von großen Fertigungszentren kommt es in den späteren Phasen eines Projektes oft zu unvorhergesehenen Änderungen. Bei der Anwendung des Wasserfallmodells würde so eine Abweichung vom ursprünglichen Plan dazu führen, dass das Endergebnis entweder nicht den geänderten Anforderungen entspricht, oder der gesamte Prozess aufgegeben und neu begonnen werden muss. Dies steht im Gegensatz zu modernen Entwicklungen in der Fertigungstechnik, wo flexible Reaktionen auf sich rasch verändernde Umstände die Zukunft bestimmen werden. Trotz der Inflexibilität dieser Methode ist der Dokumentationsaufwand recht hoch und stellt eine große Belastung für ein schlechtes Ergebnis dar (vgl. [6], S.4). Das Wasserfallmodell wird aufgrund dieser Nachteile heute kaum mehr verwendet und ist, sofern es doch zur Anwendung kommt, nur für einfache Projekte geeignet.

### **2.2.2 V-Modell**

Eine Weiterentwicklung des Wasserfallmodells ist das V-Modell. Die große Verbesserung des V-Modells zeigt sich dadurch, dass spätere Phasen des Prozesses mit den anfänglichen Etappen des Projektes verbunden sind (vgl. [6], S.5). Durch diese Rückkopplungen mit den früheren Schritten des Prozesses wird das Modell in der Darstellung als „V“ abgebildet, woher auch die Bezeichnung stammt.

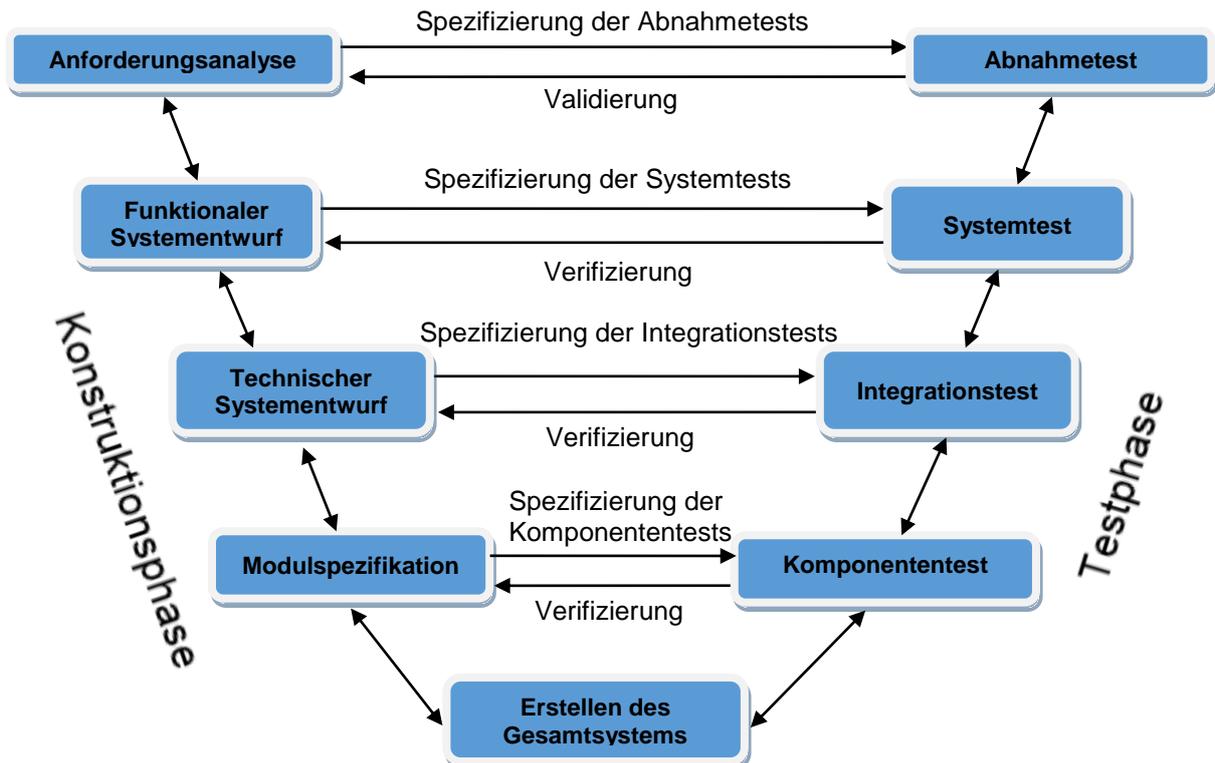


Abbildung 3: Aufbau eines V-Modells

Wie das Wasserfallmodell hat auch das V-Modell eine lineare Vorgehensweise. Jede Stufe muss abgeschlossen werden, bevor die nächste begonnen werden kann. Der größte Unterschied zum Wasserfallmodell sind die Verknüpfungen zwischen der Konstruktionsphase und der Testphase des Modells. Diese Rückkopplungen sind als Kontrollverbindungen zu verstehen, bei denen die jeweilige Prozessstufe verifiziert und validiert wird. Dabei bedeutet Verifikation, eine Überprüfung der geforderten Funktionen und Eigenschaften zwischen dem bearbeiteten und dem geforderten System. Hier wird überprüft, *ob die Dinge richtig getan wurden*. Validation bedeutet die Überprüfung der Eignung bezogen auf den Einsatzzweck des Gesamtsystems, also *ob die richtigen Dinge getan wurden* (vgl. [7]). Diese Tests werden in der Konstruktionsphase des V-Modells definiert, um dann später beim Erreichen der Testphasen die auf gleicher Höhe befindlichen Stufen überprüfen zu können. Die Konstruktionsphase des V-Modells beinhaltet ähnliche Etappen wie das Wasserfallmodell. Die Phasen haben detaillierte Vorgaben, Ergebnismuster, Rollendefinitionen und -zuordnungen (vgl. [6], S.6).

Der Aufbau des V-Modells ist simpel und leicht verständlich. Somit wird der Aufwand bei der Anwendung und der Einführung dieses Modells niedrig gehalten. Obwohl dieses Modell auf dem Wasserfallmodell aufbaut, kann es in der Praxis besser verwendet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Phasen in ihrem Ausmaß besser aufgeteilt sind und für wichtige Teile des Projekts mehr Zeit vorhanden ist. Außerdem erlaubt dieses Vorgehensmodell durch die hohe Standardisierung auch eine Durchführung von Großprojekten (vgl. [6], S.6).

Bei kleinen und mittelgroßen Projekten kann hervorgerufen durch die hohe Standardisierung des Modells eine Bürokratiehürde entstehen. Der Aufwand für die Standardisierung resultiert auch in einem größeren Managementaufwand und bedeutet gleichzeitig einen höheren Schulungsaufwand für alle ProjektmitarbeiterInnen. Wie das Wasserfallmodell ist auch das V-Modell unflexibel. Daher kann es bei aktuellen Projekten in der Fertigungstechnik nur angewendet werden, wenn die Anforderungen von Anfang an klar definiert und fix sind. Da vor der Fertigstellung des Projekts keine Prototypen abgeliefert werden, besteht zusätzlich das Risiko, dass die Erwartungen der KundInnen nicht oder nur teilweise erfüllt werden.

### **2.2.3 Spiralmodell**

Ein noch neuerer Ansatz, als das V-Modell ist das Spiralmodell. Es orientiert sich ebenfalls am Wasserfallmodell, hat aber eine andere Prozessvorgehensweise. Grundsätzlich besteht der gesamte Ablauf aus mehreren Zyklen. Die Zyklen des Spiralmodells durchlaufen dabei immer vier gleiche Phasen. Diese vier Phasen werden durch Quadranten visualisiert. Eine Linie, welche das Fortschreiten der Systementwicklung kennzeichnet und sich durch die vier Quadranten zieht, erzeugt eine Spirale, nach welcher dieses Modell benannt ist.

Grundlegend für das Spiralmodell ist die ständige Erstellung von Prototypen nach einem Zyklusdurchgang. Die Prototypen erlauben eine kontinuierliche Überprüfung des Systemfortschritts. Diese Evaluierung dient dazu, Risiken zu erkennen und angemessen darauf reagieren zu können (vgl. [8]). Nach jedem Zyklus wird der Prototyp weiterentwickelt und verbessert, damit das Gesamtsystem bis zum Projektende zu einem funktionierenden Ergebnis wächst. Dabei sind die Iterationen im Ablauf verschieden und richten sich nach den erkannten Risiken.

#### **Phase 1: Definition von Anforderungen und Zielen**

In diesem ersten Viertel des Planungsprozesses werden die Ziele identifiziert und die Anforderungen definiert, um den nächsten Prototypen des Systems eine Stufe weiter zu verbessern. Dabei werden unterschiedliche Möglichkeiten durchdiskutiert um das verbesserte Teilprodukt realisieren zu können. Wichtig ist hierbei auch auf die Randbedingungen des Projektes zu achten, um eine optimale Verbesserung erreichen zu können. Dazu zählen zum Beispiel: anfallende Kosten, benötigte Zeit und Schnittstellen des Systems.

#### **Phase 2: Identifizierung und Vermeidung von Risiken**

In diesem Abschnitt werden alle Risiken evaluiert, die bei dem neueren Modell auftauchen können. Danach wird eine effektive Strategie mit mehreren Alternativen entwickelt, mit der potentielle Probleme verhindert werden können.

**Phase 3: Entwicklung und Überprüfung**

Hier wird die nächste Generation des Produktes realisiert. Nach der Fertigstellung des Zwischenproduktes wird es validiert und verifiziert um eine stetige Überprüfung zu gewährleisten.

**Phase 4: Planung der nächsten Iterationsstufe**

Die vierte Stufe beinhaltet die Planung des nächsten Zyklus einschließlich aller zusätzlich benötigten Komponenten und Ressourcen. Systeme können auch in mehrere Komponenten aufgeteilt werden, falls dadurch eine Verbesserung erzielt werden kann.

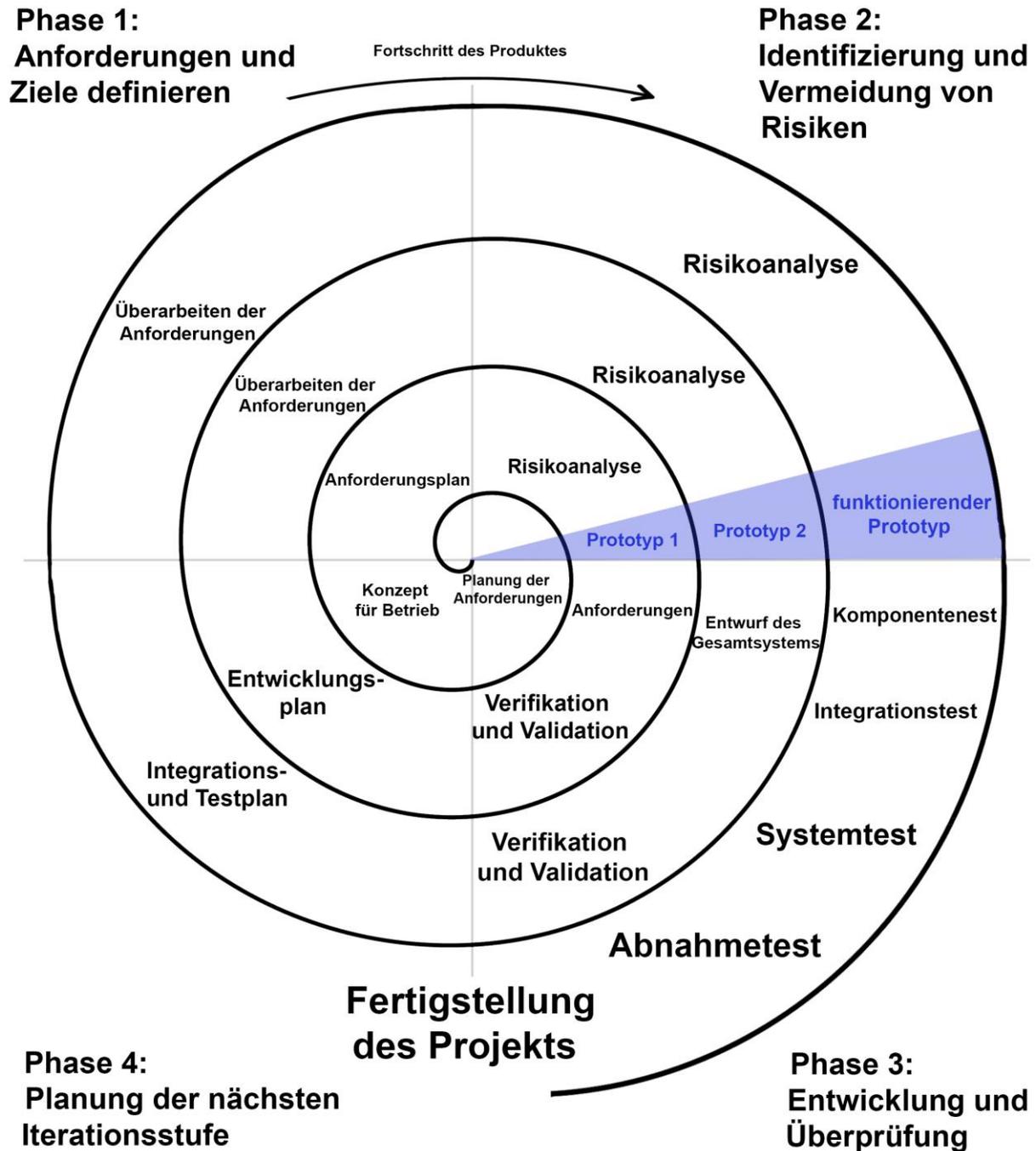


Abbildung 4: Spiralmodell

Dieser spiralförmige Modellaufbau hat speziell bei größeren Projekten viele Vorteile. Besonders große Projekte haben eine hohe Wahrscheinlichkeit Risiken zu bergen. Da jeder Zyklus dieses Vorgehensmodells mit Risikoanalysen überprüft wird, kann gewährleistet werden, dass ein Projekt mit minimalen Risiken beendet wird. Des Weiteren sind große Projekte bei der Vorgehensplanung vom Umfang her schwer einzuschätzen. Da das Spiralmodell aber nicht für die gesamte Entwicklung festgelegt wird, kann auf Prozessänderungen flexibel reagiert werden. Diese Flexibilität lässt sogar zu, dass in den einzelnen Iterationszyklen andere Prozessmodelle inte-

griert werden. Durch diese Anpassungsfähigkeit kann die Entwicklung eines Systems wesentlich leichter verändert werden als bei anderen Modellen.

Für kleine Projekte mit absehbaren Risiken ist dieses Modell nur bedingt geeignet. Die ständigen Veränderungen am System sind zwar ein großer Vorteil, jedoch gleichzeitig mit vielen Neuentscheidungen und hohem Managementaufwand verbunden (vgl. [9]). Die oftmaligen Veränderungen führen außerdem auch dazu, dass ein Projekt sehr schnell teuer werden kann. Auch die Einteilung der MitarbeiterInnen kann ein Problem darstellen. Entwicklerinnen werden nur in einer Phase des Modells benötigt und müssen in den anderen Projektabschnitten anderen Arbeiten zugeteilt werden. Da das gesamte Vorgehensmodell risikoreich ist, sind im Management exzellente Kenntnisse im Bereich des Risikomanagements unerlässlich.

#### **2.2.4 Verwendetes Modell für die Arbeit**

Jedes der vorgestellten Modelle ist von der grundlegenden Struktur her ähnlich aufgebaut. Diese Arbeit orientiert sich nicht direkt an einem bestimmten Modell sondern durchläuft genau jene Grundschritte die insgesamt ein Fundament aller Prozessvorgehensweise darstellen. Die verwendeten Schritte können in folgende Punkte unterteilt werden:

- Anforderungsanalyse
- Funktionsanalyse
- Unterteilung in realisierbare Module
- Bewertung der gefundenen Lösungen
- Verwirklichung der gefundenen Lösungen

Diese Punkte decken sich ebenfalls grob mit der „VDI-Richtlinie VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ (vgl. [1]).

## 2.3 Unterschied zwischen Virtual Reality, einer virtuellen Tour und Augmented Reality

### 2.3.1 Virtual Reality

Virtual Reality ist die Darstellung einer komplett aus digitalen Informationen bestehenden Wirklichkeit. Diese kann anhand der Wahrnehmung in „immersiv“ oder „nicht immersiv“ eingeteilt werden (vgl. [10]). Eine „Immersive-Virtual-Reality“ bedeutet, dass die BenutzerInnen vollständig in die simulierte Umwelt eingebunden werden. Dies wird heute mit der Benutzung von Virtual-Reality-Brillen verwirklicht. Dabei sieht der User die simulierte Welt durch die Brille, kann sich umschauchen und hat das Gefühl inmitten der Simulation zu sein. Die „Non-Immersive-Virtual-Reality“ ist heute bereits Stand der Technik. Zu ihr zählen alle am Computer generierten Modelle, die jedoch nur über einen Bildschirm betrachtet werden.



**Non-Immersive**



**Immersive**

Abbildung 5: Unterschiedliche Arten der virtuellen Realität

Eine weitere Einteilungsart ergibt sich durch die Steuerungsart, die eine Virtual Reality Anwendung bietet (vgl. [10]). Hier kann zwischen

- 360°-Panorama,
- Steuerung mit einem Controller
- Joystick und Steuerung mit Bewegungssensoren

unterschieden werden. Beim 360°-Bild sehen BenutzerInnen die virtuelle Umgebung von einem Punkt aus betrachtet. Der User kann sich zwar in alle Richtungen umsehen, eine Bewegung im Raum ist aber nicht möglich. Mit einem Eingabegerät, welches häufig einem Spielecontroller oder Joystick ähnelt, kann sich der User im Raum bewegen. Die Steuerung per Bewegungssensoren erlaubt den NutzerInnen sich ohne Controller frei in der virtuellen Welt zu bewegen.

### 2.3.2 Virtuelle Tour

Eine virtuelle Tour ist ähnlich der virtuellen Realität, hat aber den großen Unterschied, dass die erzeugte virtuelle Welt nicht per Computer generiert worden ist. Ein Beispiel für eine virtuelle Tour wäre ein Fabrikgelände, welches mit Fotos nachmodelliert wurde, um den IngenieurInnen einen Überblick über die Räumlichkeiten zu geben. Diese Tour wird dann zwar am PC zusammengestellt und abgespielt, die Bausteine, aus denen die virtuelle Welt besteht, sind allerdings die Fotoaufnahmen.

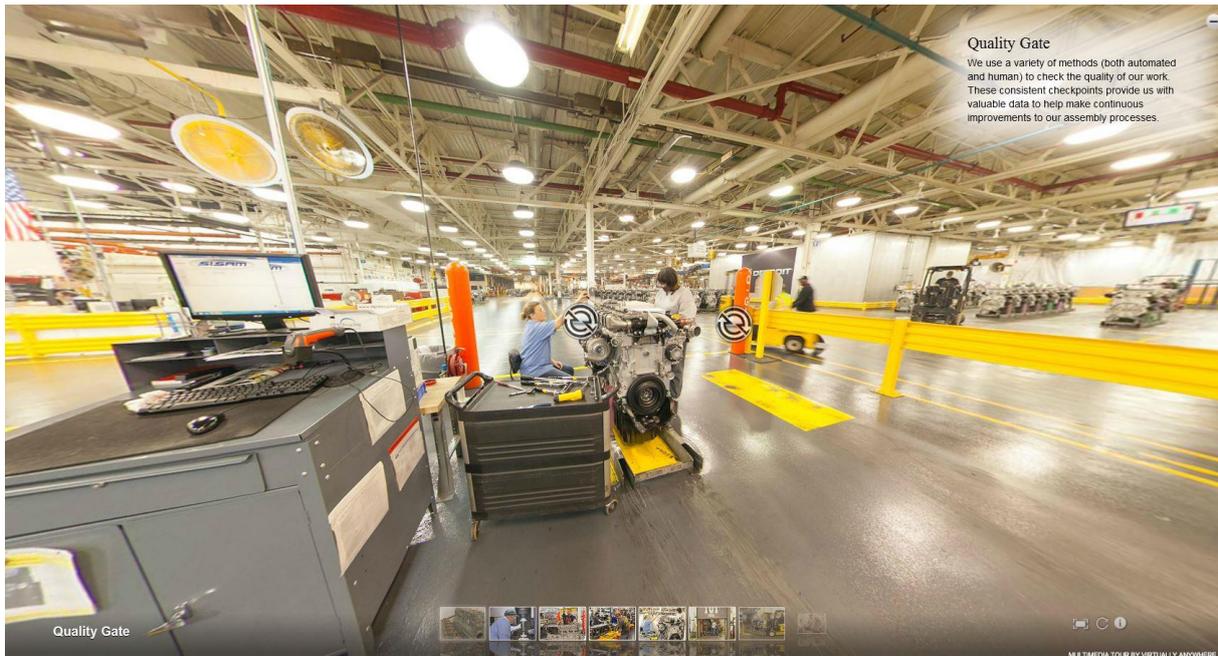


Abbildung 6: Virtuelle Tour durch eine Fertigungshalle von Detroit™ Redford Plant

### 2.3.3 Augmented Reality

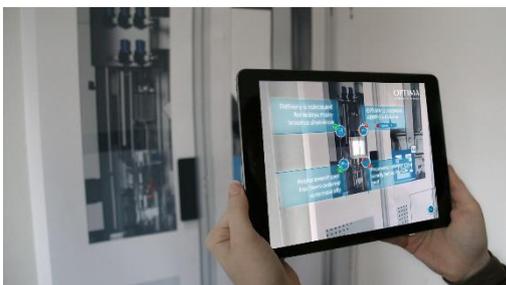


Abbildung 7: Eine Augmented Reality- App der Firma Stoll von Gáti

Augmented Reality bedeutet, dass in die reale Welt computergenerierte Informationen eingeblendet werden. Im Gegensatz zu Virtual Reality, bei der eine komplett neue Welt modelliert wird, steht hier nur die Darstellung von zusätzlichen Informationen im Vordergrund. Beispielsweise kann Augmented Reality bei der Verkabelung von Gebäuden helfen. ArbeiterInnen müssen nur ein Tablet in die Richtung der zu verkabelnden Wand halten und sehen dann den geplanten verlauf der Kabelstränge.

## 2.4 Einsatzgebiete von Virtual Reality und Augmented Reality in der Industrie

### 2.4.1 Virtual Reality und Augmented Reality in der Industrie 4.0

Der Begriff „Industrie 4.0“ ist derzeit aus keinem Industriezweig wegzudenken. Darunter wird die Einbindung moderner Informations- und Kommunikationstechnologie in die industrielle Produktion verstanden. Einer der Grundpfeiler auf denen diese industrielle Revolution aufbaut, ist die „Mensch-Maschine-Interaktion (MMI)“ (siehe Abbildung 8). Es geht also darum wie ein Benutzer ein Gerät bedienen und steuern kann. Mit Virtual oder Augmented Reality können in Zukunft benutzerfreundlichere Bedienmöglichkeiten geschaffen werden, die dem Nutzer zusätzliche Kompetenzen verleihen können und gleichzeitig die Motivation steigern das System weiter zu benutzen. Somit wird die Gebrauchstauglichkeit von Maschinen in einem hohen Maß gesteigert.

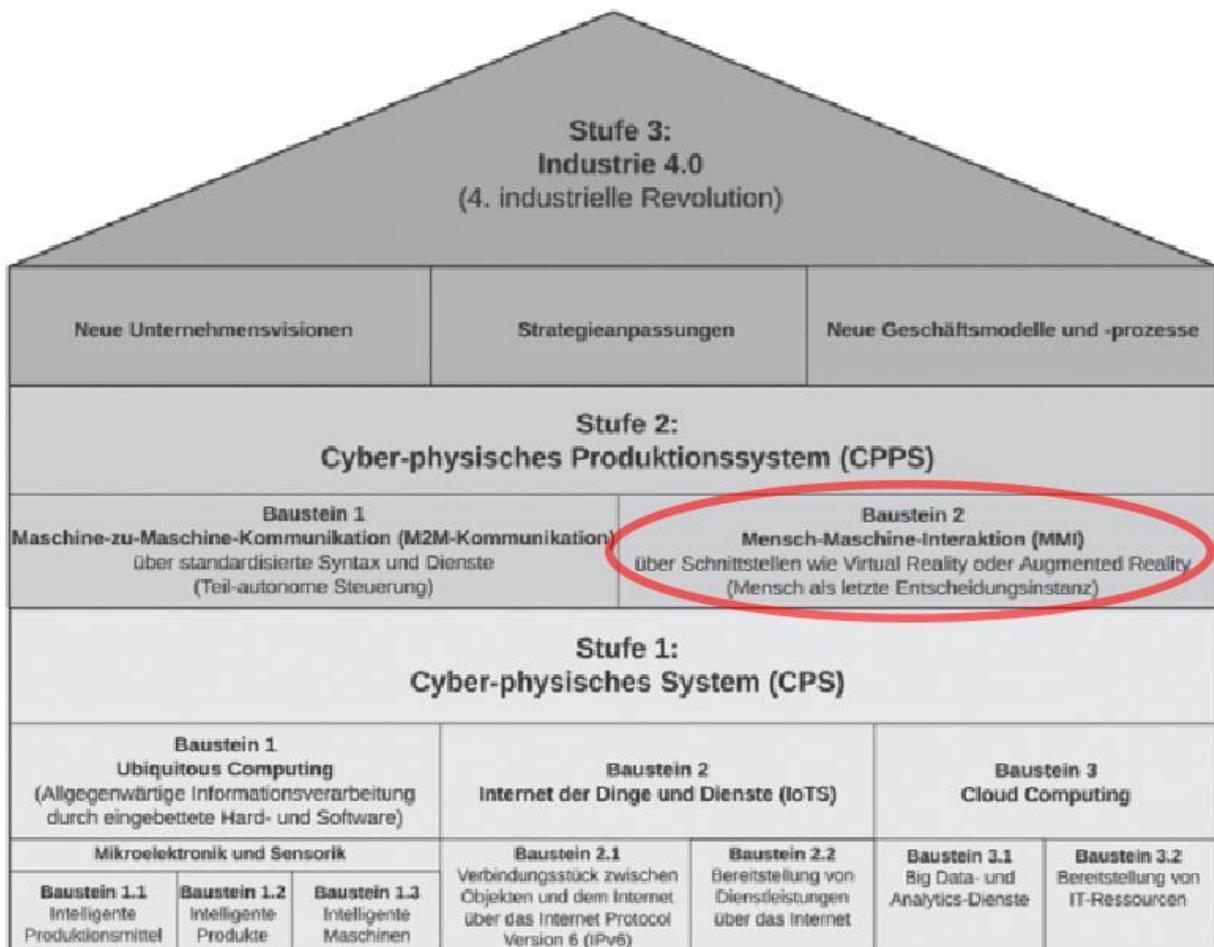


Abbildung 8: VR und AR als Grundpfeiler der Industrie 4.0



### 2.4.3 Planung/Produktentwicklung



Abbildung 10: Einsatz von „CAVE“ bei AUDI

Bereits heute sind in der Planung und Entwicklungsphase von neuen Produkten Virtual-Reality-Anwendungen nicht mehr wegzudenken. Anfänglich waren die Darstellungen von CAD-Modellen auf einen Computerbildschirm beschränkt. Besonders die Automobilindustrie verwendet aber schon seit einigen Jahren neue VR-Technologien um realistischere Eindrücke von den Entwurfsobjekten zu bekommen. In so genannten „CAVE's“ (Cave Automatic Virtual Environment) können IngenieurInnen ihre Konstruktionen und Designs diskutieren und überarbeiten. Ein „CAVE“ ist dabei ein System, welches mit Hilfe von Projektionsgeräten Bilder der virtuellen Umgebung auf die Flächen eines Raumes projiziert. Spezielle Brillen sorgen außerdem dafür, dass ein Gefühl von Räumlichkeit entsteht und gleichzeitig wird die Position der Brille getrackt um die Projektion auf den Blickwinkel der BenutzerInnen anzupassen. Der große Vorteil von einem „CAVE“ ist, dass mehrere Personen gleichzeitig an der virtuellen Erfahrung teilhaben können, wodurch eine bessere Basis für Diskussionen und einen Informationsaustausch entsteht.

Durch VR können auf diese Art in der Produktentwicklung Prozesse beschleunigt und die Effizienz erhöht werden (vgl. [12], S.2, 2.Kapitel). Das bedeutet, dass in kürzerer Zeit bessere Produkte entwickelt werden können. Dabei ist besonders am Automarkt die verkürzte Zeit bis zum Endprodukt der entscheidende Faktor. Dank der virtuellen Realität dauert es nicht lange bis ein Bauteil ein neues Design bekommt oder die Konstruktion verbessert wird. So wird die Zeit bis ein Auto auf den Markt gebracht werden kann, exponentiell verringert. Dies hat dann wiederum zur Folge, dass schneller mit Einnahmen aus dem Verkauf eines fertigen Fahrzeuges gerechnet werden kann. Außerdem können Kosten für teure Prototypen vermieden werden.

### 2.4.4 Präsentation

Für eine professionelle Präsentation werden sich AR und VR in Zukunft zu unverzichtbaren Werkzeugen entwickeln. Produkte können durch sie vorgestellt werden, bevor sie überhaupt gefertigt worden sind. In Echtzeit können sich die NutzerInnen mit den Features des Artikels bekannt machen, teure und aufwändige Werbefilme fallen weg und die KundInnen erhalten gleichzeitig ein Gefühl der Interaktion mit dem Gegenstand. Es können aber auch Konferenzen und Weiterbildungen in virtuellen Besprechungsräumen abgehalten werden, was Kosten und Zeit spart (vgl. [13], S.9).

Für Messepräsentationen ist besonders Augmented Reality geeignet. Neben der visuellen Darstellung der Messeprodukte können die BesucherInnen auch in die Präsentation miteingebunden werden und mit dem Produkt interagieren. Größe, Farbe

und Position des virtuellen Ausstellungsobjektes können direkt von den KundInnen verändert und an ihre Wünsche angepasst werden. Durch die Möglichkeit zusätzliche Informationen zum Produkt einzublenden oder mit einem Röntgenblick direkt in die Objekte hineinzuschauen, werden komplexe Themen schneller und verständlicher erklärt. Außerdem werden Kosten gespart, da Platz keine wirkliche Rolle mehr spielt. Auch große Maschinen und Anlagen können an kleinen Messeständen eindrucksvoll und ohne viel Aufwand vorgeführt werden.

Ein gutes Beispiel für die Anwendung von Augmented Reality bei einer Messe ist ein Programm, welches von der Firma SAG für Tablets entwickelt wurde (vgl. [14]). Um die vom Unternehmen produzierten Kraftstofftanks zu präsentieren, mussten früher Fahrzeuge als Ausstellungsstücke für die Messe angeschafft werden. Dementsprechend groß musste auch die Präsentationsfläche ausgelegt sein, was mit hohen Kosten verbunden war. Mit der entwickelten Applikation kann der/die MessebesucherIn nun einen komplett modellierten LKW samt Bauteilen von SAG von allen Seiten betrachten. Zusätzlich können Teile transparent geschaltet werden und sämtliche Produktinformationen zusätzlich eingeblendet werden. Neben den üblichen Messeständen ist diese Interaktion ein zusätzliches Erlebnis und bleibt dem/der BesucherIn besser im Gedächtnis. Augmented Reality schafft so auf eine innovative Art und Weise zu präsentieren und zu faszinieren.



Abbildung 11: Produktvisualisierung bei SAG



Abbildung 12: Überprüfung einer Maschine mit der Hololens

Eine Neuheit im Bereich des Augmented Reality, welche Präsentationen in Zukunft noch interessanter machen wird, ist Microsofts „Hololens“. Diese Technologie kann über eine Datenbrille holographische Bilder mit der realen Umwelt überlagern, wodurch eine gemischte Wahrnehmung entsteht (Mixed Reality). Neben dem Einsatz auf Messen und Meetings hat die Hololens aber etliche Einsatzmöglichkeiten die

speziell für die Industrie interessant werden könnten. Zurzeit befindet sich die Holo-lens noch in der Testphase, sie könnte aber schon bald ein allgegenwärtiges Werkzeug in Unternehmen werden.

### 2.4.5 **Wartung/Reparatur**

Ein wichtiger Faktor für jedes Unternehmen sind kurze Maschinenstillstandszeiten. Ermöglicht werden diese durch eine schnelle Wartung und eine rasche Reparatur. Dazu stehen im Gegensatz die immer komplexer werdenden Maschinen und Anlagen, deren Bedienung oft die Anstellung hochqualifizierter MitarbeiterInnen erfordert. Können die internen TechnikerInnen die still stehende Maschine nicht wieder zum Laufen bringen, muss auf teure, externe Fachkräfte zurückgegriffen werden. Neben den zusätzlichen Kosten zieht das auch die Reparatur in die Länge.



*Abbildung 13: Instandhaltung mit Augmented Reality*

Bei solchen Problemen bietet sich Augmented Reality als optimale Lösung an. Die Idee hierbei ist die komplexen Maschinen und Anlagen vollständig als CAD-Modell mit allen wichtigen Informationen, auch in kleineren Einzelteilen, auszustatten. So kann selbst ein/e TechnikerIn, der/die über kein maschinenspezifisches Wissen verfügt auf Informationen zugreifen, ohne vorher viel Zeit mit dem Durchlesen der Dokumentation verbracht zu haben. Die Umsetzung so eines Systems kann dabei auf zwei Arten passieren. Eine Möglichkeit ist, dass der/die NutzerIn ein getracktes PDA bei sich trägt. Anhand von der Position der MitarbeiterIn erkennt das System welche Daten sinnvollerweise angezeigt werden müssen. Die aufwendigere Umsetzungsvariante wird mit einer Brille ausgeführt, bei der die Blickrichtung getrackt wird. Informationen werden dann beim betreffenden Bauteil direkt auf dem halbdurchsichtigen Display der Brille angezeigt.

### 2.4.6 **Logistik**

Eines der wichtigsten Einsatzgebiete für Augmented Reality wird in Zukunft der Logistiksektor sein. Hier ist die Technologie wie dafür geschaffen, um gelagerte Teile schnell und effektiv in der Lagerhalle zu finden und dann richtig einzusortieren. In vielen Lagerhallen werden Aufträge heute noch mit Papieranweisungen und unhandlichen Barcodescannern abgearbeitet, was jedoch langsam und fehleranfällig ist. Diese Arbeit wird oft auch von LeiharbeiterInnen ausgeführt, die teuer für diese Aufgabe eingeschult werden müssen, um einen fehlerfreien Prozessablauf zu gewährleisten.



Abbildung 14: Vision Picking

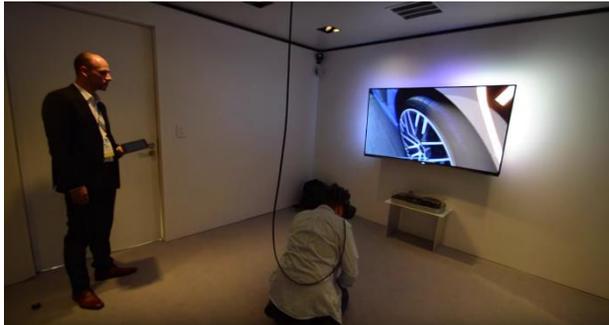
Unternehmen wie Knapp, SAP und Ubimax arbeiten gerade an der Fertigstellung von Logistik-AR-Systemen (vgl. [15]). Diese bestehen grundsätzlich aus einer Brille mit halbdurchlässigem Display und einem Tracking-System, welches die Position der MitarbeiterInnen bestimmt. Die so genannte „Vision Picking“-Software bietet eine Barcodeerkennung, Objekterkennung und eine Indoor-Navigation an. Zusätzlich können Informationen direkt vom Management eingeblendet werden. Mit dieser Technologie hat jeder der ArbeiterInnen immer die Auftragsliste vor Augen und kann dank der Navigation in der Halle den schnellsten Weg zum gesuchten Produkt finden. Die Objekterkennung der Brille bestätigt dann, dass die MitarbeiterInnen das richtige Lagerregal gefunden haben. Mit der Barcodeerkennungssoftware kann dann zu jedem Auftrag das gesuchte Teil gefunden und in den richtigen Behälter eingeordnet werden. Gleichzeitig wird der Lagermanagementsoftware mitgeteilt, dass der Auftrag richtig eingeordnet wurde, wodurch eine bessere Planung ermöglicht wird.

Ein großer Vorteil dieser Technologie ist, dass die Hände der ArbeiterInnen während der Bearbeitung des Auftrags frei sind und sie sich so schneller um ihre Aufgaben kümmern können. Auch fällt es neuen MitarbeiterInnen durch die Anweisungen der Datenbrillen leichter sich in der Lagerhalle zurechtzufinden. Des Weiteren sinkt die Einschulungszeit um ein Vielfaches. Obwohl die Fehlerhäufigkeit bereits durch die heute implementierten Technologien sehr niedrig gehalten wird, kann Augmented Reality dazu beitragen diese Fehler so gut wie vollständig zu beseitigen.

## 2.4.7 Marketing

Bereits früh zu finden waren VR- und AR-Anwendungen im Bereich des Marketings. Durch das eindringliche und emotionale Erlebnis, welches eine Virtual-Reality-Anwendung bei den KundInnen auslösen kann, ist der Einsatz dieser Technologie in der Werbung nicht verwunderlich. Ein weiterer Vorteil, welcher heutzutage noch ausgenutzt werden kann, ist die Neuheit der Technik. Wiederum sind starke Emotionen die Hauptreaktionen nach denen das Marketingpersonal sucht. Durch aufmerksamkeitsregende, immersive Anwendungen bleiben Produkte sofort im Gedächtnis und werden von den KundInnen noch zusätzlich weiterbeworben. Dabei haben bisher besonders Automobilunternehmen die Vorteile von Augmented und Virtual Reality für sich entdeckt.

Im September 2015 begann BMW mit einer weltweiten Marketingkampagne die Autosparte „MINI“ zu vermarkten (vgl. [16]). Damit ist BMW der erste große Autohersteller, welcher intensiv versucht mit einer Marketingstrategie das Potential von Virtual Reality auszuschöpfen. Mit zwei emotionalen Filmen versucht BMW dabei den ZuseherInnen die Marke „MINI“ näher zu bringen, wofür BMW 140.000 „Google Cardboard“ Brillen zur Verfügung stellte. Diese günstigen VR-Brillen bestehen im Grunde aus einem Kartongerüst und Fischaugen-Linsen, welche den Bildschirm eines eingeleghen Mobiltelefons als Bildquelle nutzen.



*Abbildung 15: AUDI VR-Showroom*

AUDI ist sogar noch einen Schritt weiter gegangen und rüstet seine Händler mit Virtual-Reality-Stationen aus (vgl. [17]). In diesen Räumen können KundInnen mit einem aufgesetztem Headset in einer virtuellen Welt ein gewünschtes Auto anschauen und nach ihren Wünschen in Echtzeit konfigurieren lassen (vgl. [18]). Die Modelle der Fahrzeuge werden dabei jedoch nicht eigens für diese Anwendung modelliert, sondern sie bestehen aus den originalen Bauplänen der Autos. Somit entspricht jedes Modell dem originalen Entwicklungsstandard. Die KundInnen können sogar in die Autos „hineintauchen“ und sich mit der Technik, die hinter den Fahrzeugen steckt, auseinandersetzen. Die individuelle Kombinationsvielfalt und das Gefühl vor dem zukünftigen Auto zu stehen, kann keine andere Technologie besser vermitteln.

## 3 Auslegung der Fertigungszelle

### 3.1 Anforderungsanalyse

In den folgenden Kapiteln der Anforderungsanalyse werden grundlegende Informationen, die als Fundament für das Projekt dienen gesammelt. Darunter fallen die vom Auftraggeber geforderten Ziele und die bereits vorhandenen Grundkonzepte. An diese Konzepte kann im weiteren Verlauf der Planung angeknüpft werden, um die ersten Ideen zu ergänzen und sie schließlich zu verwirklichen. Am Ende der Anforderungsanalyse soll genau definiert werden, welche Eigenschaften die Zelle aufweisen muss und auf welche besonders viel Wert gelegt werden soll.

### 3.2 Vorgegebene Ziele und Konzepte

Die TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0 als Demonstrationsfabrik für Smart Production und Cyber-Physische-Produktionssysteme befasst sich im Schwerpunkt mit neuen Konzepten und Lösungen für variantenreiche Serienproduktion (High Mix- Low Volume) im Bereich der diskreten Fertigungsindustrie, die typisch für viele österreichische Unternehmen ist. (nach Bleicher 2015, [19], S.11). Für diese Pilotfabrik soll eine flexible Fertigungszelle bestehend aus einer Fräsmaschine, Schweißzelle und Materialhandling ausgelegt werden. In dieser Fertigungszelle sollen Teile für einen 3D-Drucker gefertigt werden. Dabei soll die Produktion des Druckers als Anschauungsmaterial dienen, um Schulungen, Forschung und Entwicklung, Beratung und Demonstrationsfertigung zu präsentieren. Um eine Fertigungszelle vorführen zu können, die repräsentativ für die Zukunft der Fertigungstechnik ist, soll die Zelle folgende Eigenschaften erfüllen:

- Rekonfigurierbare, adaptive Fertigung
- High-Mix- und Low-Volume-Produktion
- MES-Integration
- M2M-Kommunikation
- Integration von additiver und subtraktiver Fertigung
- Integration von Logistik
- RFID-Erkennung

### 3.3 Grundkonzept der Fertigungszelle

Die Grundidee der flexiblen Fertigungszelle ist es eine Fräsmaschine und eine Schweißzelle mit einem Werkstückhandlingsystem zu verbinden. In den ersten Konzepten der Zelle waren dabei folgende Bausteine für die Zelle geplant:

#### 1. MaxxMill 500-Fräsmaschine

- Automatische Beladetüre für Roboter an der rechten Gehäusesseite
- Nullpunktspannsystem bzw. Spannturm zur Bauteilspannung

#### 2. Handling-Roboter

- Aussuchen der Spezifikationen
- Roboterkupplung

#### 3. IGM-Zelle

- Bauteile können hier per Auftragsschweißen bearbeitet werden
- Hauptbestandteile: Schweißroboter und Drehkipptisch

#### 4. Feststehendes Palettenmagazin

- Dient zur Aufnahme eines Werkstückvorrates
- Werkstücke sollen mit Spannpaletten gelagert werden

#### 5. Neobotix-Transportroboter

- Zuständig für Zu- und Abtransport einzelner Paletten
- Einfacher Aufbau (passiv)
- Kommunikation mit Zellensteuerung
- Übergabestation mit Bildverarbeitung (wegen Positioniergenauigkeit)

#### 6. Transportables Palettenmagazin

- Mit Paletten beladenes Magazin wird mit einem Hubwagen oder Hubstapler auf die dafür reservierte Position abgestellt
- RFID codiert (Vorhandensein des Magazins wird automatisch erkannt), Informationen werden automatisch vom Zellrechner abgerufen (Geometrie des Magazins, Belegung und Zuordnung der Aufträge etc.)
- Unterstützung durch Bildverarbeitung

#### 7. Palettenumlaufspeicher

- Verbindet Fräszelle mit IGM-System

- RFID codiert (Vorhandensein des Magazins wird automatisch erkannt), Informationen werden automatisch vom Zellrechner abgerufen (Geometrie des Magazins, Belegung und Zuordnung der Aufträge etc.)
- Unterstützung durch Bildverarbeitung

In der folgenden Abbildung ist der Konzeptaufbau der flexiblen Fertigungszelle zu sehen. Die Nummern beschreiben die vorher aufgezählten Komponenten.

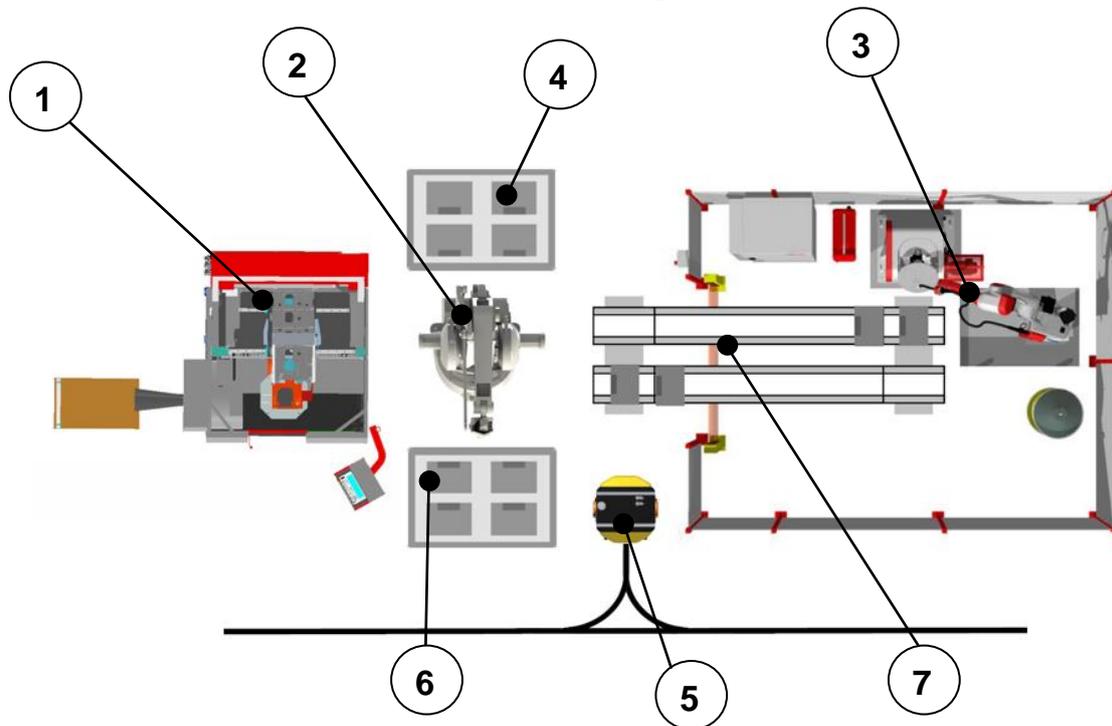


Abbildung 16: Konzeptaufbau der Fertigungszelle

Um den Umfang der Schweißkomponenten besser abschätzen zu können, wurde die Firma IGM beauftragt ein erstes Modell zu erstellen. Dieses war nur sehr grob an das eigentliche Projekt angepasst und es sollte hauptsächlich dazu dienen den benötigten Raum für die Geräte abschätzen zu können. Für den ersten Konzeptaufbau wurde dieser Vorschlag verwendet. Es stellte sich jedoch heraus, dass dieses Layout schlecht auf die restlichen Komponenten der Fertigungszelle abgestimmt war. Beispielsweise wurde ein zu großer Raum für die automatische Beschickung durch den Transportroboter der Zelle einkalkuliert.

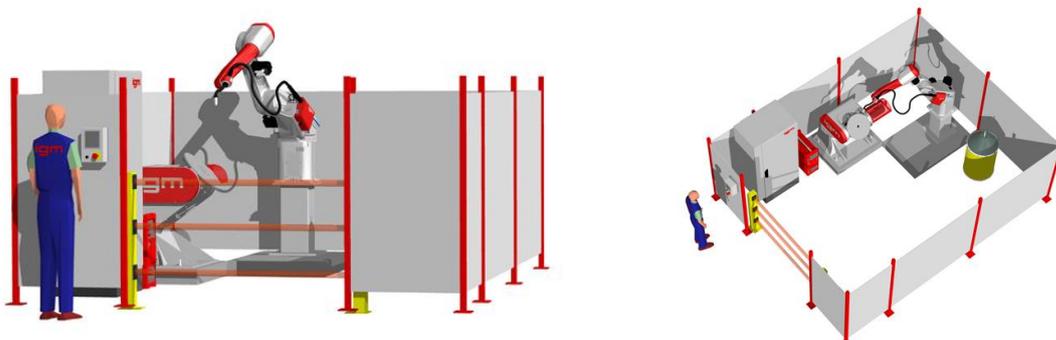


Abbildung 17: Konzeptaufbau der Schweißkomponenten von der Firma IGM

### 3.4 Frageliste zur Fertigungszelle

Um die genaueren Anforderungen der Fertigungszelle zu erheben, wurde ein Fragebogen erstellt, der offene Punkte aufzeigen sollte. Dieser Fragebogen wurde mit den unterschiedlichen Stakeholdern besprochen.

- Wie hoch ist die maximale Tischbelastung der Fräsmaschine?
- Wie hoch ist die maximale Tischbelastung des IGM-Drehkipptisches?
- Welche Formen sollen gefertigt werden können?
- Wie groß sollen die gefertigten Teile werden?
- Wie schwer sollen die gefertigten Teile werden?
- Welche Losgröße soll gefertigt werden?
- Mit welchen Anschlüssen ist die Fräsmaschine ausgestattet?
- Ist optionales Zubehör für die Fräsmaschine vorgesehen?
- Wie groß ist die automatische Beladetür der Fräsmaschine?
- Ist ein integriertes Programmiersystem für die Fräsmaschine vorgesehen?
- Wie groß ist der zur Verfügung gestellte Arbeitsraum?
- Gibt es Strukturen im Arbeitsraum, die eine Bewegung des Roboters einschränken könnten?

Anhand dieser Fragen konnten die Funktionalität der Zelle und die gewünschten Anforderungen besser abgeschätzt werden. So konnte definiert werden, dass die Zelle etwa 150 mm x 150 mm x 150 mm große Bauteile, bei einer geringen bis mittleren Losgröße fertigen soll. Da die Bauteile so klein sein werden und die Fertigung aus Aluminium erfolgen soll, kann das Gewicht der Werkstücke vernachlässigt werden. Es stellte sich außerdem heraus, dass die Tischbelastung der Fräsmaschine mit 250 kg einen wichtigen Flaschenhals in der weiteren Auslegung der Zelle bedeuten wird. Der Drehkipptisch der Schweißzelle ist auf eine Tischbelastung von bis zu 300 kg ausgelegt. Des Weiteren wurde ein Hallenplan zur Verfügung gestellt, anhand dessen Säulen und das Maschinenfundament in der Planung berücksichtigt werden konnten. Die Fragen welche die Fräsmaschine betreffen, werden später im Kapitel 7.6.1 MaxMill 500 beantwortet.

### 3.5 Gewichten der Anforderungen

Um die Anforderungen an die Auslegung der Zelle besser verstehen zu können, müssen die geforderten Funktionen und Eigenschaften der Zelle gewichtet und priorisiert werden.

Eine der Hauptaufgaben der Pilotfabrik ist es eine Basis für Industrie 4.0 Anwendungen zu sein. Deshalb ist die höchste Anforderung an die Zelle, neuartige Anwendungen in das Fertigungskonzept zu implementieren, und für zukünftige Erweiterungen offen zu sein.

Dazu zählen unter anderem:

- Mix von additiver und subtraktiver Fertigung
- Modernes Sicherheitssystem
- Zukunftsorientierte Maschinenkommunikation und Orchestrierung der Zelle
- Fahrerloses Transportsystem
- Flexible Produktvielfalt
- Leichte Anpassung an neue Produkte
- Automatische Palettenerkennung (RFID)

Die Auswahl der Zellkomponenten muss so erfolgen, dass diese Ansprüche nicht beeinträchtigt werden. Eine Anforderung, die an die vorherigen Punkte anknüpft, ist das Analysieren von weiteren Möglichkeiten, um zukunftsorientierte Technologien verwenden zu können. So soll überprüft werden, ob ein Spannturm statt einer Palette mit Spannmitteln die bessere Option für die Maschinenbeladung wäre.

Anforderungen wurden aber nicht nur an die Zelle selbst, sondern auch an die virtuelle Inbetriebnahme geknüpft. Diese stellt bereits in der Anfangsphase der Planung eine optimale Möglichkeit dar, Fertigungsabläufe zu erproben. Durch die Simulation der Roboterwege soll einerseits die Effektivität der Zelle optimiert werden. Andererseits kann überprüft werden, ob der Beladungsroboter alle benötigten Pfade ohne Kollisionen befahren kann. Dafür soll auch eine Kollisionsanalyse durchgeführt werden.

### 3.6 Funktionsstruktur der Fertigungszelle

Da es sich bei dieser flexiblen Fertigungszelle um ein Konzept mit vielen Vorgängen und ineinander verschachtelten Systemen handelt, ist es vorteilhaft die Funktionsstruktur in mehreren Stufen zu bestimmen. In der ersten Phase wird lediglich das

äußere Verhalten des Systems betrachtet. Um diese Struktur darzustellen, wird eine so genannte Blackbox verwendet. Nach Gerhard kann eine Blackbox folgendermaßen definiert werden: „Übersichtliche, abstrakte Darstellung der Zusammenhänge zwischen einem System und seiner Umgebung“ (Gerhard 2014, [20], S.54).

Danach kann anhand eines morphologischen Kastens eine übersichtliche Darstellung aller Teillösungen abgebildet werden. Mit der Verknüpfung der Blackboxmodelle und des morphologischen Kastens wird eine ausreichend genaue Beschreibung der Funktionsstruktur des Fertigungssystems erstellt. Dadurch können die gefundenen Teillösungen einfach in realisierbare Module gegliedert werden. Mit diesen gefundenen Ergebnissen können anschließend die einzelnen Komponenten der Fertigungszelle ausgewählt werden.

### 3.6.1 Blackboxmodelle

Hierfür wird das Gesamtsystem auf eine Box mit allen relevanten Eingängen und Ausgängen des Systems reduziert. Die eigentliche Funktion einer Komponente wird dabei verbal beschrieben, indem die kennzeichnende Eingangsgröße und die Art ihrer Veränderung angegeben wird, z.B.: „Werkstück fräsen“. Die Funktion selbst wird dabei als gewollter Zusammenhang zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen sichtbar (vgl. [20]). Bereits dieser Schritt liefert wichtige Aussagen über die Zusammenhänge der Fertigungszelle. Schmitz (1994, [21], S.17) merkt dazu folgendes an: „Ein tiefgehendes Verständnis der inneren Zusammenhänge zur Erkennung der Aufbau- und Ablaufstruktur kann jedoch nur durch eine schrittweise Zergliederung des Systems erzielt werden.“ Die Funktionen der Blackbox lassen sich in immer kleinere Untergruppen aufteilen. Diese Subsysteme können dabei wieder als Blackboxmodelle dargestellt werden. Dieses Vorgehen kann nun so weit durchgeführt werden, bis eine ausreichende Beschreibung der Funktionen vorhanden ist.

Die folgenden Modelle sollen die Eingänge und Ausgänge der gesamten Fertigungszelle und ihre einzelnen Komponenten beschreiben. Dabei stehen die Farben für die unterschiedlichen Arten der Ein- und Ausgänge:

- Orange: Energien
- Blau: Materialien
- Rot: Digitale Informationen

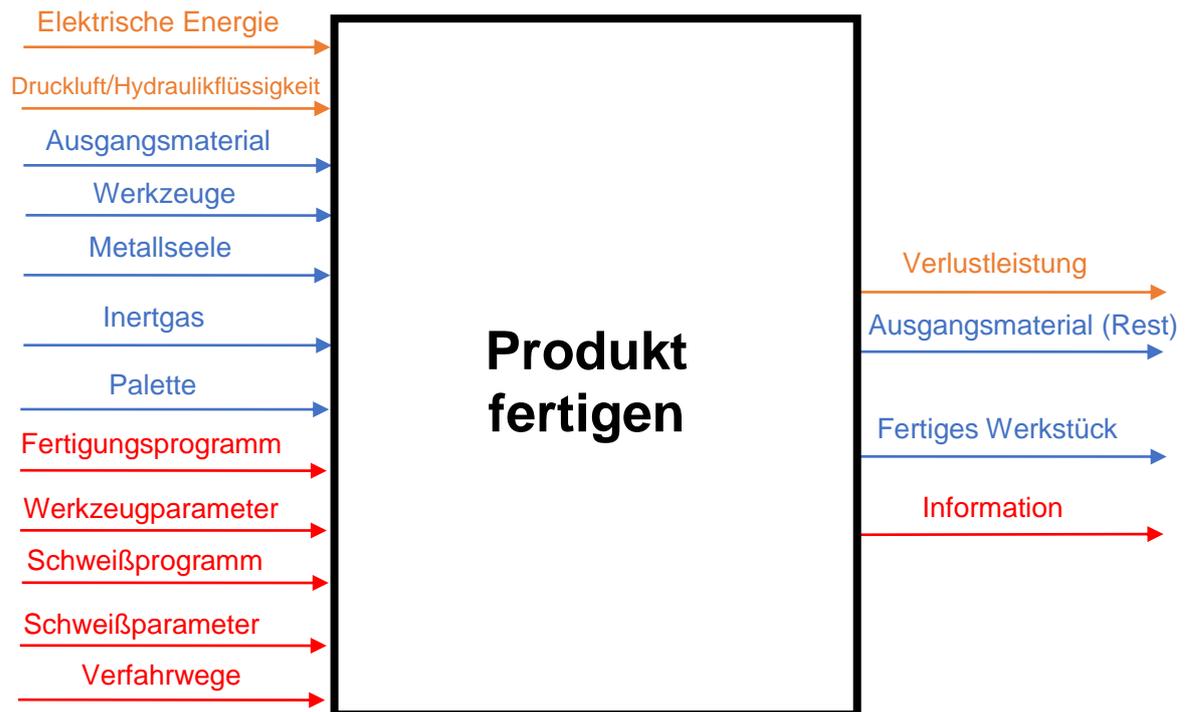


Abbildung 18: Blackboxmodell der gesamten Fertigungszelle



Abbildung 19: Blackboxmodell der Fräsmaschine



Abbildung 20: Blackboxmodell des Handlingroboters



Abbildung 21: Blackboxmodell der Schweißzelle

Die Blackboxmodelle liefern einen groben Überblick über die Ein- und Ausgänge einer Komponente. Aus dem Blackboxmodell der Fräsmaschine kann ausgelesen werden, dass für die Funktion des Bauteiles unterschiedliche Eingänge notwendig sind. Um ein Werkstück fräsen zu können, benötigt die Maschine Energie in Form von Strom. Zusätzlich können mithilfe von Druckluft oder Hydraulischem Druck die Spannmittel für die Werkstücke betätigt werden. Neben diesen Energien wird aber auch noch ein Ausgangsmaterial benötigt, welches mit Werkzeugen bearbeitet wird. Um eine Bearbeitung zu ermöglichen, sind aber auch Informationen, wie das Fertigungsprogramm und Werkzeugdaten notwendig um einen Fräsvorgang durchführen zu können. Das Fertigungsprogramm kann dabei ein NC-Programm sein, die MaxxMill 500 kann optional aber auch mit einem eigenen Programmiersystem auf CAD/CAM Basis betrieben werden. Nach der Ausführung der Komponentenfunktion können Energien, Materialien und Informationen aufgeführt werden, welche das System dann verlassen. Der Fräsvorgang ist auch immer mit einer Verlustleistung verbunden, die überwiegend als Wärme abgegeben wird. Außerdem kann das fertige Produkt entnommen werden, wobei auch Späne als Restmaterial anfallen. Der Vorgang der Bearbeitung liefert aber auch Daten über die Bearbeitung die für neuerliche Einsätze nützlich sein können.

Durch die Darstellung der Fertigungszelle in dieser Form können die Funktionen der einzelnen Zellkomponenten und die der gesamten Zelle klar aufgezeigt werden. Diese vereinfachte Strukturierung, der sonst komplizierten und miteinander verknüpften Zusammenhänge gewinnt im späteren Verlauf der Zellauslegung an Bedeutung. Werden später einmal in weiteren Arbeiten alle Bewegungsabläufe der Zelle simuliert, kann dann überprüft werden, ob die wichtigsten Funktionen implementiert worden sind und ob verschiedene Zusammenhänge richtig ins Programm eingebettet wurden.

### 3.6.2 Morphologischer Kasten

Der morphologische Kasten ist ein Werkzeug zur übersichtlichen Darstellung und Kombination von möglichen Teillösungen für ein System. Durch dieses Ordnungsschema kann ein guter technischer und wirtschaftlicher Überblick gegeben werden, um aufzuzeigen, wie Funktionen realisiert werden können. (Gerhard 2014, [20], S.63).

Für die Arbeit bedeutet das, dass auf einem Blick alle möglichen Komponentenoptionen aufgelistet werden, welche für die flexible Fertigungszelle verwendet werden könnten. Die Tabelle soll hier einen kompakten Überblick über die diskutierten Möglichkeiten für den Aufbau der Zelle und die gewählten Lösungen geben. Die Gründe, warum welche Komponenten gewählt wurden, werden im achten Kapitel ausführlich beschrieben. Diese Auflistung erleichtert die Entscheidungsfindung für die benötigten Bauteile und in den späteren Phasen der Planung kann auf diese Übersicht zurückgegriffen werden, falls doch eine Änderung im Aufbau der Zelle notwendig wird.

	1	2	3	4	5
<b>Sicherheit</b>	 Sicherheitszaun	 Lichtschranken	 Optisches System	 Laserscanner	
<b>Spannmittel</b>	 Einfachspanner	 Mehrfachspanner	 Spannturm	 Pyramide	
<b>Roboter</b>	 ABB 6620	 ABB 6640	 Stäubli TX-200		
<b>Paletten- umlaufspeiche</b>	 Paletten-Kettenband	 Wanderrollenband	 Paletten-Umlaufband	 Friktionsrollenband	 Roboterbeladung

<b>Roboter- kupplung</b>	 NSR 160	 NSR maxi 220	 NSR mini 100		
<b>Nullpunkt- spannsystem</b>	 NSE plus	 NSA plus			

Tabelle 1: Morphologischer Kasten

### 3.7 Gliedern in realisierbare Module

In diesem Arbeitsschritt wird für die Konzipierung der Fertigungszelle das gesamte System in kleinere Module unterteilt. Dabei ist ein Modul eine aus mehreren Teilen zusammengesetzte Einheit, die austauschbar ist.

Bei der folgenden Abbildung ist die Fertigungszelle bereits schematisch mit den gefundenen Lösungen aus dem morphologischen Kasten ausgestattet worden. Zu erkennen ist hierbei, dass der Palettenumlaufspeicher komplett eingespart werden konnte, da der Handling-Roboter sowohl die Fertigungszelle als auch den Drehkipp-tisch des Schweißroboters erreichen kann.

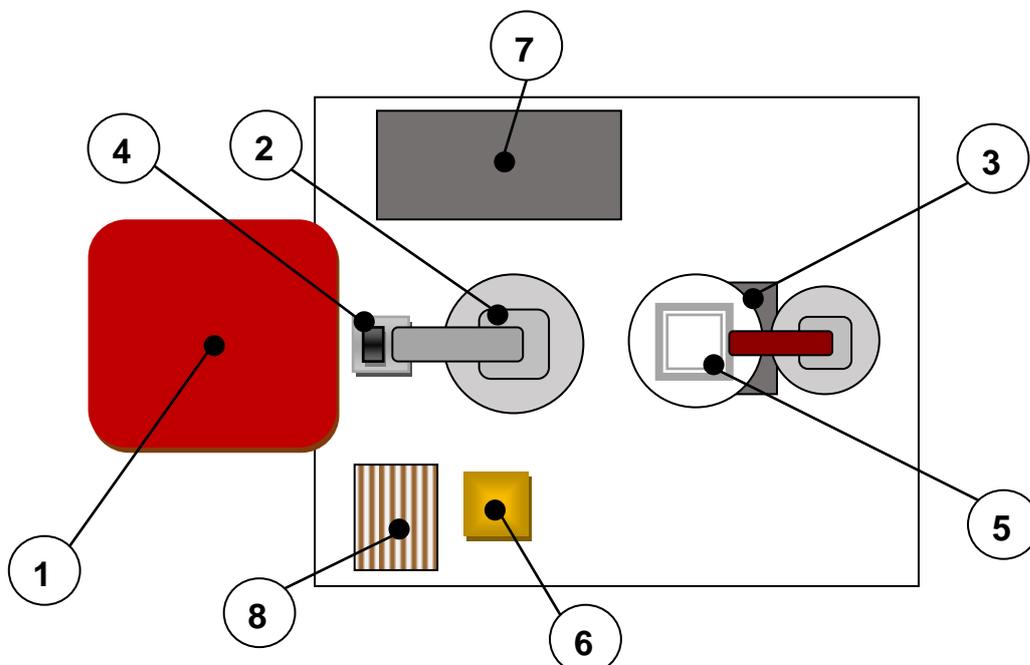


Abbildung 22: Schematische Übersicht der Fertigungszelle

Die Nummern in Abbildung 22 stehen für folgende Komponenten:

1. **MaxxMill 500 Fräsmaschine**
2. **ABB 6620 mit Roboterkupplung**
3. **IGM-Schweißzelle**
4. **Palette mit Spannmittel**
5. **Nullpunktspannsystem**
6. **Neobotix-Transportroboter**
7. **Feststehendes Palettenmagazin**
8. **Transportables Palettenmagazin**

## 4 Beschreibung der gewählten Lösungsvarianten

### 4.1 Komponenten zur Wersktückbearbeitung

#### 4.1.1 MaxxMill 500



Abbildung 23: MaxxMill 500

Die MaxxMill 500 Fräsmaschine ist ein fixer Bestandteil der Fertigungszelle. Diese vertikale CNC-Fräsmaschine ermöglicht eine 5-Seiten Bearbeitung der Werkstücke. Es lassen sich Objekte mit einer Kantenlänge von 500 x 500 x 500 mm fertigen. Die maximale Tischbelastung beträgt dabei 250 kg. Das Werkzeugmagazin der Maschine bietet Platz für 30 Werkzeuge. Des Weiteren lassen sich Spannmittel hydraulisch und pneumatisch bedienen. Die MaxxMill 500 Fräsmaschine ist besonders für kleine und mittlere Stückzahlen geeignet und damit eine optimale Wahl für eine flexible Fertigungszelle. Zusätzlich wird die Maschine mit einer seitlichen Beladertüre ausgestattet, um neben der manuellen Bestückung auch eine automatisierte Beladung realisieren zu können. Auf ein optionales Softwarepaket zur Simulation der Fertigung wird verzichtet.

#### 4.1.2 IGM-Schweißzelle

Zu den weiteren fixen Komponenten der Zelle gehören die Elemente der IGM Schweißzelle. Zu den zwei wichtigsten Bestandteilen gehören dabei der Schweißroboter RTE 496-S und der Drehkipptisch RP2-300A.



Abbildung 24: RTE 496-S

Der Schweißroboter RTE 496-S ist mit seinen sechs Achsen auf eine schnelle Positionierung und hochgenaue Bahntreue ausgelegt. AC-Servomotoren ermöglichen dabei die rasche Beschleunigung aller Achsen und sind gleichzeitig günstig in der Wartung. Da die Motoren mit Haltebremsen ausgestattet sind, entfällt das Kalibrieren nach dem Einschalten des Roboters. Sämtliche Leitungen für die Gas- und Wasserversorgung, sowie alle Schweißdrahtführungen befinden sich innerhalb des Robotergehäuses. Das bietet er-

hebliche Vorteile bei der Zugänglichkeit zu kleinen Werkstücken sowie bei kreisförmigen Nähten.



Der Drehkipptisch dient zum Manipulieren der Paletten, mit den zu schweißenden Werkstücken, in zwei voneinander unabhängigen Drehachsen. Er hat eine Nutzlast von 300 kg und ist komplett in die Schweißrobotersteuerung integriert. So wird eine synchrone Werkstückbewegung während des Schweißablaufes ermöglicht.

Abbildung 25: RP2-300A

## 4.2 Komponenten für das Materialhandling

### 4.2.1 Palettenumlaufspeicher

In der ersten Konzeptskizze ist ein Palettenumlaufspeicher zu sehen. Dieser erwies sich allerdings als unnötig, da der Handlingroboter sowohl die Fräsmaschine, als auch den Drehkipptisch des Schweißroboters beladen kann. So wird die gesamte Zelle im Aufbau kompakter und billiger in der Ausführung. Zwar würde der Palettenumlaufspeicher selbst als Werkstückspeicher fungieren können, die starre Struktur dieser Komponente würde aber konträr zum Grundgedanken der flexiblen Fertigung stehen. Deshalb wurde entschieden das Werkstückhandling mit einem Roboter durchzuführen, um die Flexibilität der Zelle so zu maximieren.

### 4.2.2 Roboter

Zur groben Auswahl standen der Zelle folgende Roboter zur Verfügung:

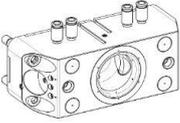
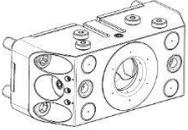
	Handhabungs- kapazität	Reichweite	Gewicht	Positionier- genauigkeit	Simulations- programm
 ABB 6620	150 kg	2,2 m	900 kg	0,03 mm	ABB Robot- Studio

 <p>ABB 6640</p>	130 kg – 235 kg	2,55 m – 3,2 m	1310 kg – 1405 kg	0,07 mm	ABB Robot-Studio
 <p>Stäubli TX200</p>	100 kg	2 m	980 kg	0,06 mm	Stäubli Robotics Suite

*Tabelle 2: Vergleich der zur Auswahl stehenden Roboter*

Als Handlingroboter wurde für dieses Projekt der ABB 6620 ausgewählt. Nach einigen Tests und einem Layoutentwurf mit allen Robotern erwies sich der ABB 6640 als zu groß und schwer und daher für den Zweck einer kompakten Fertigungszelle ungeeignet. Der Stäubli TX200 hat zwar die richtigen Abmessungen für die Zelle, dass Simulationsprogramm dieses Roboters ist jedoch nicht so mächtig wie „ABB Robot Studio“. Besonders im Bereich der Visualisierung hat man bei der Simulationssoftware von ABB den Vorteil, auch Funktionen von anderen Bauteilen außer dem Roboter simulieren zu können.

### 4.2.3 Roboterkupplung

	<b>Mx max. statisch</b>	<b>Einzugskraft</b>	<b>Gewicht</b>
 <p>NSR 160</p>	600 Nm	15 kN	1,6 kg
 <p>NSR maxi 220</p>	4000 Nm	12 kN	21 kg
 <p>NSR mini 100</p>	75 Nm	4 kN	0,4 kg

*Tabelle 3: Vergleich der Roboterkupplungen*

Das wichtigste Auswahlkriterium für die Roboterkupplung ist das statische Moment, welches aufgenommen werden kann. Bei den möglichen Spannoptionen für die Fertigungszelle beträgt das höchste Moment  $M_x$  etwa 160 Nm. Somit ist die Kupplung NSR 160 von Schunk ausreichend, um die Palette samt Spannmittel zu tragen, gleichzeitig ist sie auch nicht zu überdimensioniert.

## 4.3 Spannmittel

### 4.3.1 Palette

Als Palette, worauf die Spannmittel montiert werden, ist eine „PAL A 399 x 399“ von der Firma Schunk ausgewählt worden. Mit ihren Abmessungen von 399 x 399 mm ist sie optimal für den Maschinentisch der MaxMill 500 Fräsmaschine geeignet. Um das Gewicht der Palette möglichst gering zu halten, wurde als Material Aluminium gewählt.

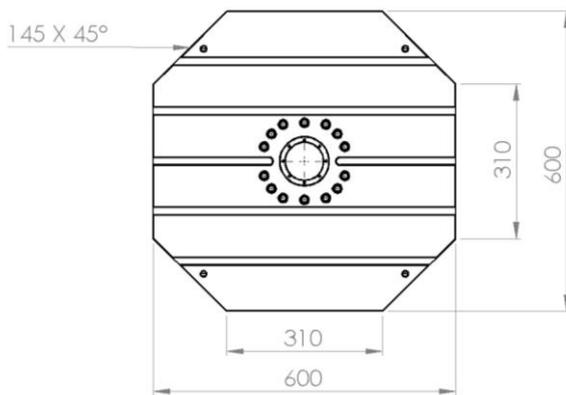


Abbildung 26: Maschinentisch

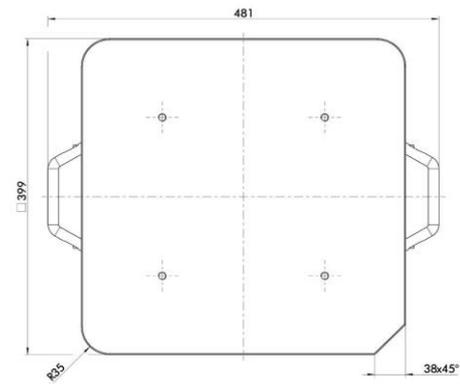


Abbildung 27: PAL A 399x399

### 4.3.2 Nullpunktspannsystem



Abbildung 28: NSE plus

Um einen schnellen automatisierten Palettenwechsel zu ermöglichen, ist ein Nullpunktspannsystem von großem Vorteil. Grundlage eines Nullpunktspannsystems sind pneumatisch betätigte Spannmodule, welche auf dem Maschinentisch angebracht werden. Nach der Montage und Ausrichtung dieser Module ist der Referenzpunkt der Maschine fixiert. Nun können Paletten, die mit Spannbolzen ausgestattet sind vom Spannmodul aufgenommen werden. Der Bolzen wird dabei von einem im Nullpunktspannmodul radial angeordnetem Spannschieber eingezogen und verriegelt. Die Zentrierung der Spannbolzen erfolgt dabei über einen Kurzkegel. Solche Systeme garantieren eine Wiederholgenauigkeit des Wechsels von  $<0,005$  mm. Somit sind Nullpunktspannsysteme eine optimale Ausstattung für eine automatisierte Fertigungszelle.



Abbildung 29: NSA plus

Die Firma Schunk bietet das Nullpunktspannsystem „NSA plus“ an, welches speziell für automatisierte Maschinenbeladungen konzipiert ist. Im Gegensatz zu anderen Nullpunktsystemen ist hier die Bauweise etwas anders. Hier sind die Spannbolzen gleichzeitig die Kurzkegel, welche auf der Spannmodulplatte fixiert sind. Weiters ist die aufzunehmende Palette mit Spannringen ausgestattet, welche von dem Modul aufgenommen werden können. Die flache Bauweise des Kurzkegels erlaubt dabei eine maximale Ausnutzung des Maschinenraumes. Mit einem zwangsgeleiteten Luftstrom wird die Plananfläche gereinigt, wodurch eine händische Reinigung

der Module nicht mehr notwendig ist. Außerdem sind im Modul die Abfragen, ob das System geöffnet oder geschlossen ist, enthalten. Somit ist die Anlagekontrolle schon im Standardangebot integriert.

### 4.3.3 Spannmittel für die Werkstücke

Eine Anforderung bei der Auswahl der Spannmittel war es, die unterschiedlichen Möglichkeiten für die Mehrfachspannung (Spannturm, Spannprisma, etc.) zu evaluieren. Mehrere Eigenschaften verhinderten die Verwendung dieser Komponenten jedoch bereits nach einer kurzen Recherche. Der größte Nachteil, der sich bei der Benutzung von Spanntürmen ergibt, ist das hohe Gewicht. Die kleinsten Ausführungen wiegen bereits etwa 150 kg. Gleichzeitig hat sich herausgestellt, dass dies die teuerste Option der Spannmittelwahl wäre. Ein weiterer Nachteil ist, dass der ausgewählte Roboter mit einer Handhabungskapazität von 150 kg an seine Grenzen kommen würde und ein rasches Werkstückhandling ebenfalls unmöglich wäre. Des Weiteren stellte sich heraus, dass auch Pyramidenkonsolen als Spannoptionen nur bedingt verwendbar sind. Diese sind zwar mit etwa 100 kg leichter als die Türme, die Kosten pro Spannplatz sind aber auch hier im Gegensatz zu anderen Spannmitteln deutlich höher.

Neben den Spanntürmen und –pyramiden wurde auch die Verwendung von Einfachspannern und Mehrfachspannern überprüft. Bei diesem Vergleich ergab sich, dass Mehrfachspanner die bessere Wahl sind. Sie sind billiger, leichter und bieten eine höhere Anzahl an Spannplätzen auf einer Palette als Einfachspanner. Dafür sind Werkstücke in Mehrfachspannern nur manuell zu spannen, während bei Einfachspannern auch eine hydraulische oder pneumatische Bedienung möglich ist. Dieser Umstand ist ebenfalls zu berücksichtigen, wenn die Zelle eine hohe Automatisierungsstufe aufweisen soll.

	Kosten	Gewicht	Spannplätze pro Palette
Spannturm			
Pyramidenkonsole			
Einfachspanner			
Mehrfachspanner			

Tabelle 4: Vergleich der Spannmittel

Obwohl Spanntürme und Pyramidenkonsolen Vorteile bei der Anzahl der Spannplätze bieten, verdeutlicht diese Tabelle, dass sich die Werkstückspannung mit Einfachspannern oder Mehrfachspannern mehr auszahlt.

## **4.4 Sicherheit**

Um die bestmögliche Sicherheit für die flexible Fertigungszelle bieten zu können muss auf eine Kombination aus verschiedenen Technologien zurückgegriffen werden. Die Auswahl und Beschreibung der verschiedenen Elemente würde das Thema dieser Arbeit jedoch übersteigen. Für die Modellierung der Fertigungszelle wurde ein Sicherheitszaun gewählt, um den Raum der Zelle besser abschätzen zu können.

## 5 Simulation

### 5.1 Arbeiten in „SolidWorks“

Das erste Programm mit dem die grundlegenden Modelle für die spätere Simulation in „RobotStudio“ erstellt wurden, war „SolidWorks“. Diese Arbeiten umfassten zuerst das Importieren und Anpassen der unterschiedlichen Komponenten der Zelle. Als nächster Schritt wurde das gesamte Layout der Fertigungszelle mit dem Programm erstellt. Diese Datei konnte dann exportiert und in „RobotStudio“ verwendet werden.

#### 5.1.1 Importieren von Modellen und Anpassen der Modelle für die Simulation

Bevor die eigentliche Simulation mit „RobotStudio“ begonnen werden konnte, mussten noch alle Komponenten der Fertigungszelle mit „SolidWorks“ bearbeitet und dann zu einem Gesamtentwurf zusammengefügt werden.

Das größte Problem bei dieser Arbeit stellte das Importieren der Modelle in „SolidWorks“ dar. Diese waren im STEP-Format zur Verfügung gestellt worden und beim Öffnen dieser, wurden im Modell Fehler erzeugt. Die fehlerhaften Flächen und Lücken im Volumen mussten über das „Import-Diagnose-Tool“ repariert werden. Ohne eine Reparatur hätte die Datei später nicht mehr von „SolidWorks“ in eine STEP-Datei exportiert werden können. Dieser Schritt ist jedoch notwendig, um die überarbeiteten Komponenten in „RobotStudio“ einzufügen.

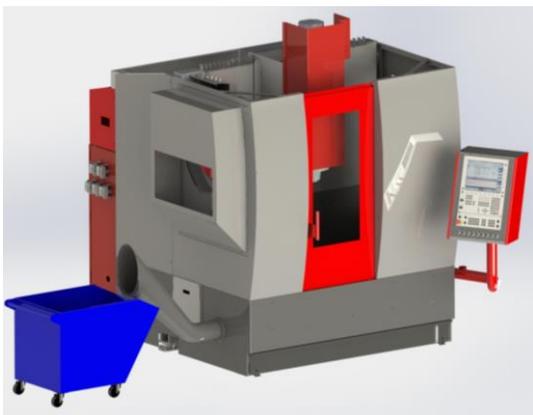


Abbildung 30: Bearbeitetes Modell der Fräsmaschine

Ebenfalls wichtig für die virtuelle Inbetriebnahme ist es das Modell so realitätsnah wie möglich darzustellen, aber trotzdem so kompakt wie möglich zu halten. Deshalb wurden die Materialien der Komponenten der Realität angepasst und Teile, welche für die Simulation nur eine untergeordnete Rolle spielen, wurden aus dem Modell gelöscht.

## 5.1.2 Erstellen des Zellenlayouts

Die Hauptaufgabe der Arbeiten mit „SolidWorks“ war es ein möglichst detailgetreues Layout der Fertigungszelle zu bekommen. Nachdem alle Modelle von den auftretenden Fehlern befreit wurden, konnten die Komponenten richtig im Raum platziert werden. Um mögliche Probleme bei der Aufstellung in der Lernfabrik zu vermeiden, wurde der Grundriss der Fertigungshalle mit allen Säulen und Maschinenfundamenten ebenfalls abgebildet und die Zellenbestandteile dementsprechend richtig platziert. Beim Erstellen des Layouts wurde bereits darauf geachtet, dass alle Komponenten in Reichweite des Roboters stehen, damit in der späteren Simulation keine größeren Positionsänderungen der Modelle durchgeführt werden müssen.

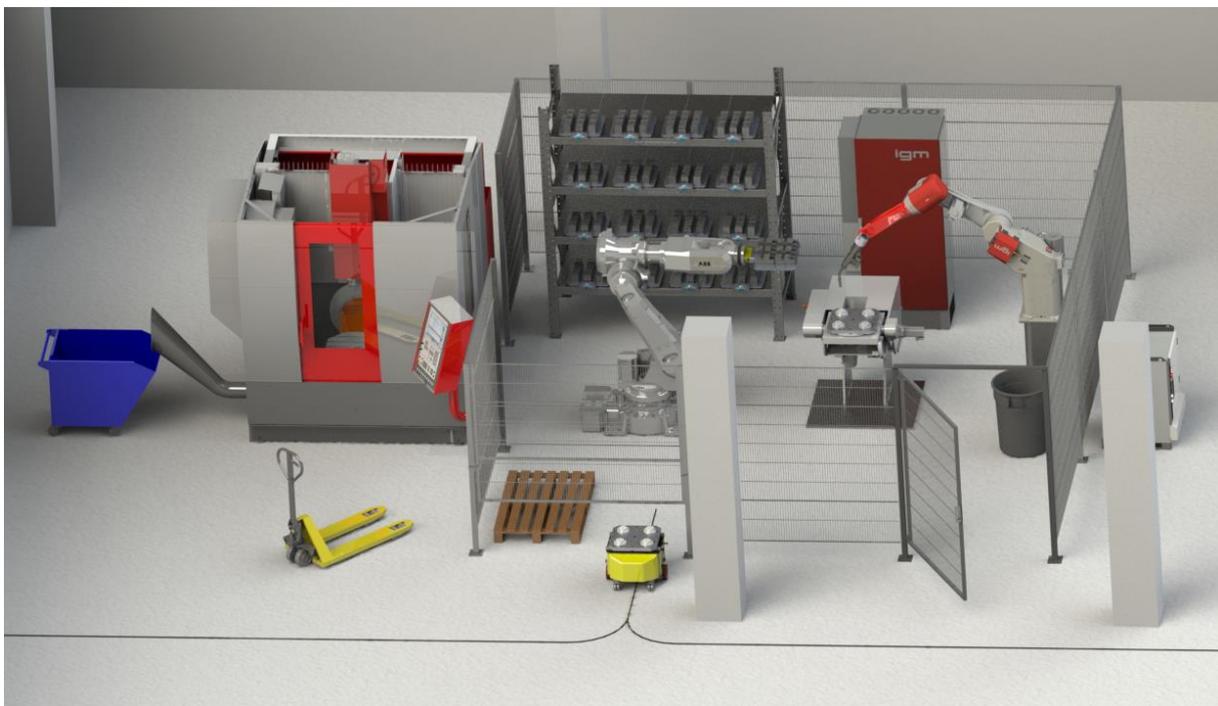


Abbildung 31: Fertiges Zellenlayout

## 5.2 Vorbereitung der Simulation in „RobotStudio“

### 5.2.1 Import der Modelle



Abbildung 32:  
Schaltflächen für die  
Materialbearbeitung

Bevor mit der eigentlichen Simulation der flexiblen Fertigungszelle angefangen werden kann, müssen noch einige Arbeiten erledigt werden. Der erste Schritt besteht darin, die fertigen „SolidWorks“-Modelle als STEP-Dateien in „RobotStudio“ zu importieren. Die Bauteile wurden alle einzeln abgespeichert und importiert, sodass das Layout weiterhin verändert werden konnte. Beim Import der Modelldaten gehen die

Materialeigenschaften der jeweiligen Bauteile verloren, weshalb zu allererst diese Materialien neu zugeordnet werden müssen.

Eine weitere wichtige Aufgabe vor der Simulation ist es, alle importierten Bauteile als Bibliothek abzuspeichern. Dieser Schritt sichert die Modelle als eigene „RobotStudio“-Datei. Wenn eine ausgewählte Komponente erneut bearbeitet werden soll, muss diese zuerst von der Bibliothek getrennt werden. Diese Vorgehensweise ermöglicht es im späteren Verlauf der Modellierung zu der Ausgangslage zurückzukehren, falls es zu Problemen kommen sollte.

## 5.2.2 Erstellen eines Roboterwerkzeuges

Um in der Zelle das Handling der Werkstückpaletten simulieren zu können, benötigt der Roboter eine Werkzeug-Komponente, die in „RobotStudio“ zuerst erstellt werden muss. Dieses Werkzeug kann dann mit dem Roboter verbunden werden und so den Einsatz in der Zelle simulieren.

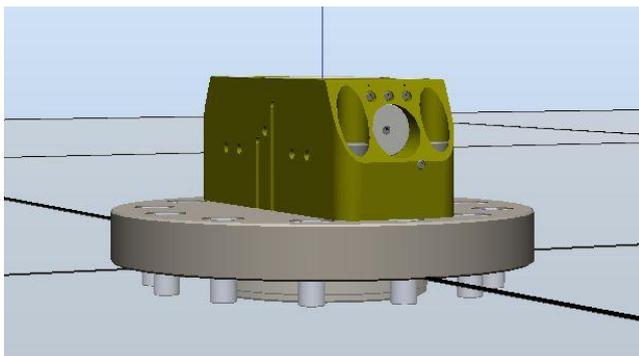


Abbildung 33: Roboterflansch mit versetztem lokalem Ursprung

Zu Beginn müssen der ausgewählte Roboter und das Modell des verwendeten Werkzeuges in eine Szene importiert werden. Der wichtigste Schritt während der gesamten Werkzeugerstellung ist die richtige Auswahl des lokalen Ursprunges des verwendeten Werkzeugmodells. Der lokale Ursprung muss so liegen, dass die x-y Ebene des Koordinatensystems und die Verbindungsfläche des

Roboterflansches später genau aufeinander liegen. Aus diesem Grund liegt, wie in Abbildung 33 zu erkennen ist, ein Teil des Modells unterhalb des Welt-Nullpunktes. Der Teil, der unterhalb des Szenenbodens liegt, verschwindet später im Roboterflansch, sodass das Modell richtig verbunden wird.



Abbildung 34: Schaltfläche zum Erstellen des Werkzeugs

Nachdem der lokale Ursprung passend geändert wurde, ist darauf zu achten, dass die Position des Modells in den Welt-Nullpunkt gelegt wird. Im nächsten Schritt kann nun das Werkzeug erstellt werden. Für diesen Vorgang gibt es den Befehl „Werkzeug erstellen“ unter dem Reiter „Modellieren“, im Abschnitt „Mechanik“.

Wird diese Schaltfläche betätigt, öffnet sich ein Fenster, indem der Name, das Modell, die Masse, der Schwerpunkt und das Trägheitsmoment des Werkzeuges defi-

niert werden können. Im nächsten Fenster kann das Koordinatensystem des Werkzeuges ausgewählt oder manuell eingegeben werden. Da der lokale Ursprung des Modells genau im Nullpunkt liegt und dies auch für das Werkzeugkoordinatensystem gelten soll, wird die Position einfach für jede Achse bei null belassen und das Werkzeug kann fertig gestellt werden. Um zu testen, ob alle Optionen richtig gewählt wurden, kann das neue Werkzeug nun mit dem Roboter verbunden werden.

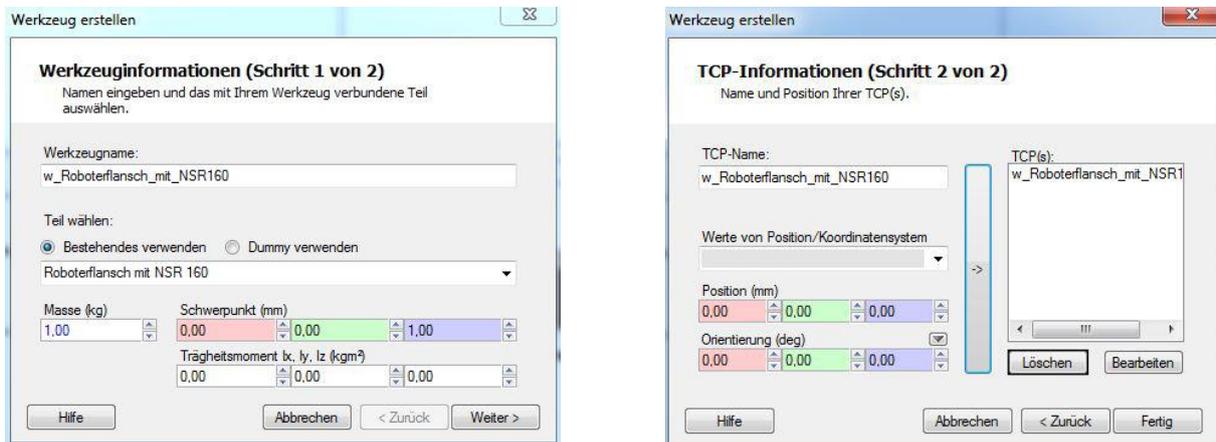


Abbildung 35: Fenster zur Werkzeugerstellung

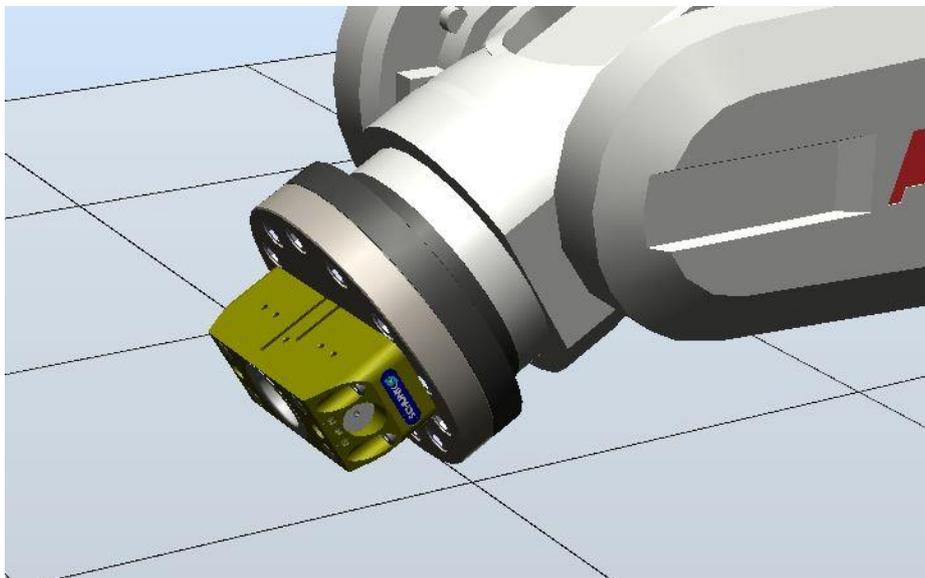
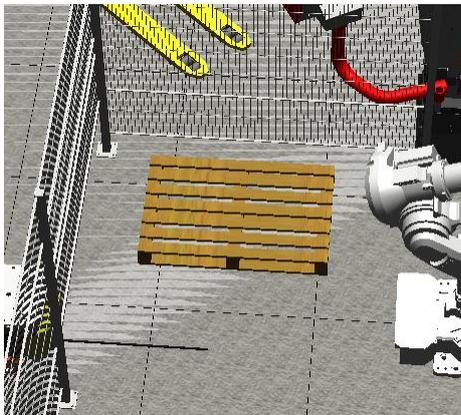


Abbildung 36: Mit Roboter verbundenes Werkzeug

### 5.2.3 Platzieren der Zellkomponenten

Ein weiterer Schritt, der in „RobotStudio“ nicht unterschätzt werden darf, ist die Ausrichtung der importierten Modelle zueinander. Die Schwierigkeit der Platzierung von Bauteilen in „RobotStudio“ liegt nämlich darin, dass keine Abhängigkeiten von Geometrien zueinander gemacht werden können. Stattdessen besitzt jedes Bauteil ein eigenes Koordinatensystem. Dieses Koordinatensystem wird anfangs in den Ursprung des Raumes gesetzt. Das führt jedoch dazu, dass Teile oft verdreht in die Szene importiert und dann ausgerichtet werden müssen. Anhand der Holzpalette der Zelle soll erläutert werden, welche Schritte die Ausrichtung eines Modells in „RobotStudio“ erfordert.



Oft ist nur sehr schwer zu erkennen, dass ein Modell nicht parallel in die Szene importiert worden ist. Für eine möglichst realitätsnahe Robotersimulation ist es aber sehr wichtig, dass die Komponenten der Fertigungszelle exakt zueinander ausgerichtet sind. Auch bei der Holzpalette ließ sich mit freiem Auge nicht erkennen, dass das Modell leicht verdreht importiert wurde (siehe Abbildung 37).

Abbildung 37: verdrehte Palette

Um eine Geometrie richtig zu platzieren, wird zuerst ein Koordinatensystem aus drei Punkten an einer geometrisch leicht zu bestimmenden Stelle des Modells erstellt. Im Fall der Holzpalette wurde dafür eine der oberen Ecken ausgewählt. Hier können per Objektfang einfach die drei benötigten Punkte des Koordinatensystems an den Seiten der Palette ausgewählt werden.



Abbildung 38: Erstellen des Koordinatensystems am Eck der Palette

Dieses, anhand der Seitengeraden der Geometrie erstellte Koordinatensystem, gibt jetzt exakt die relative Lage des Palettenmodells im Raum wieder. Die benötigten Positionskordinaten können unter dem Menüpunkt: „Position festlegen“ abgerufen werden (siehe Abbildung 39). Abbildung 40 zeigt, dass das erstellte Koordinatensystem

tem auf die 3D-Welt bezogen in allen drei Achsen etwas verdreht ist. Somit liegt auch die Palette, genau um diese Werte falsch verdreht im Raum.

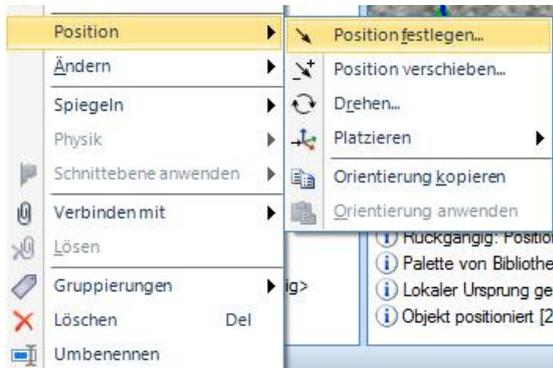


Abbildung 39: Position festlegen

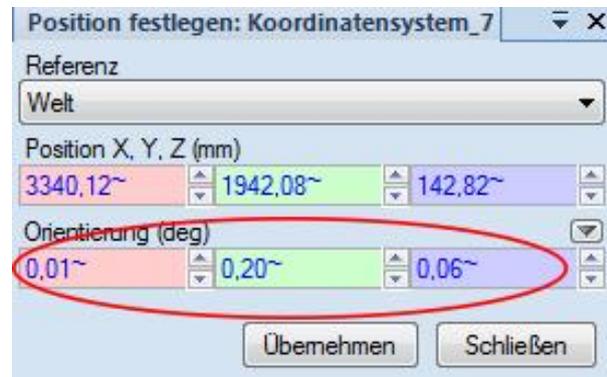


Abbildung 40: Abweichungen bei der Orientierung

Nun kann der Ursprung des Palettenmodells in den Ursprung des erstellten Koordinatensystems gelegt werden. Unter der Option „Lokalen Ursprung festlegen“ kann für jedes Bauteil das ursprüngliche Koordinatensystem nach dem Importieren verändert werden (siehe Abbildung 41). Hier müssen nun die Werte des vorher erstellten Koordinatensystems eingetragen werden, um den Ursprung richtig mit den Seiten der Palette auszurichten (siehe Abbildung 42). Ist dieser Schritt erledigt, kann schließlich die Position der Palette relativ auf die modellierte Welt verändert werden. Hierfür werden lediglich die drei Werte der Orientierungsachsen auf null gesetzt, was bewirkt, dass verglichen mit dem Weltkoordinatensystem, keine Verdrehung mehr vorhanden ist.

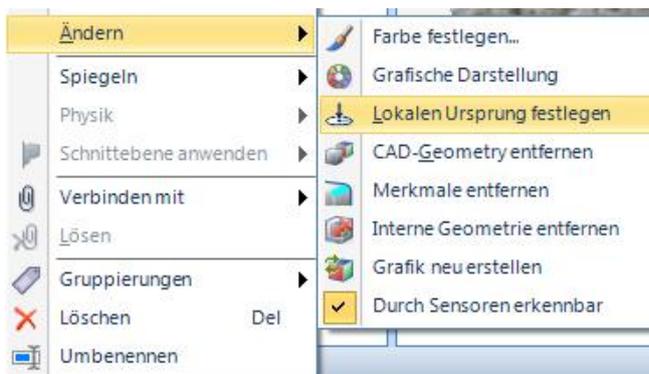


Abbildung 41: Schaltfläche: „Lokalen Ursprung festlegen“

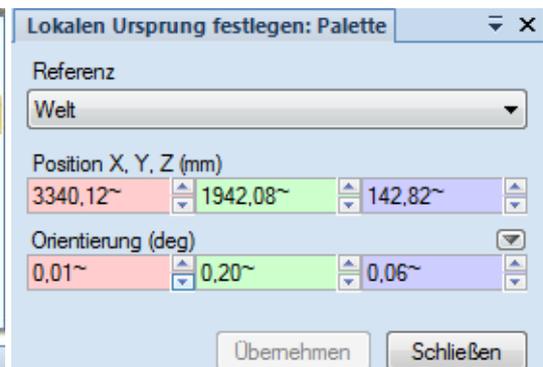


Abbildung 42: Festlegen des Lokalen Ursprungs

Nach der richtigen Anordnung aller Komponenten im Raum stellt sich die Zelle wie in Abbildung 43 zusammen.

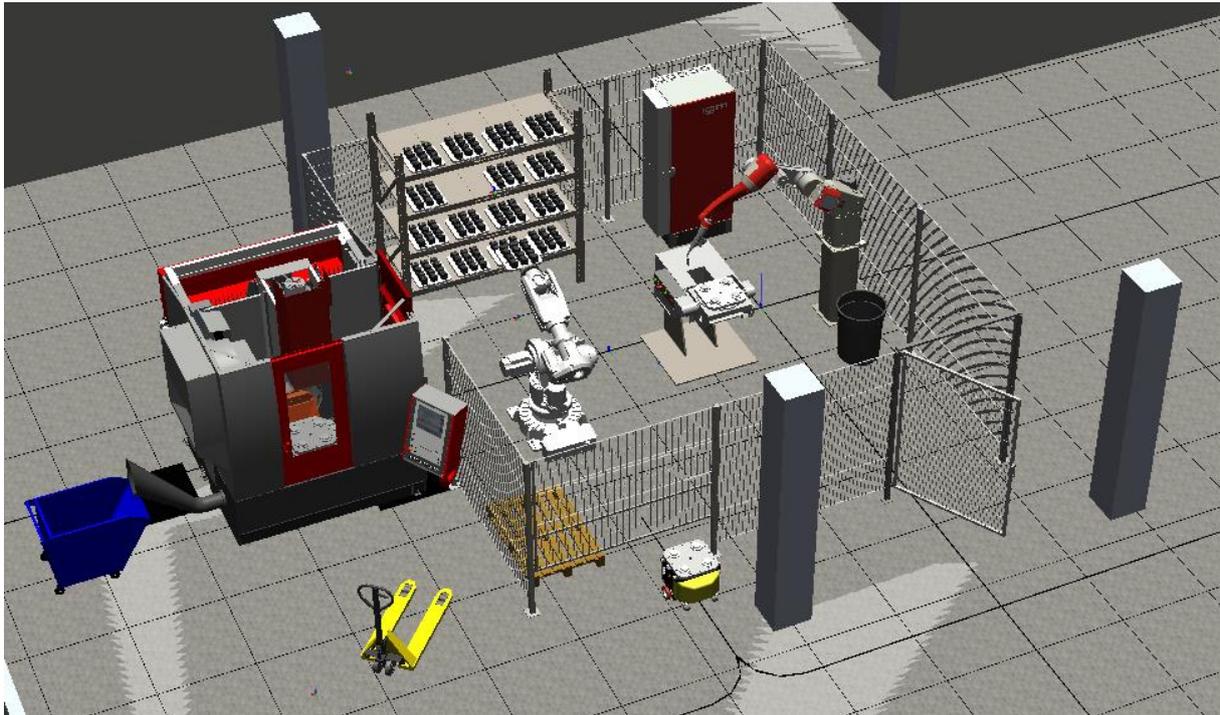


Abbildung 43: Fertiges Zellenlayout in „RobotStudio“

### 5.3 Simulation in „Robot Studio“

Nachdem die Station so realitätsnah wie möglich aufgebaut wurde, kann mit dem wichtigsten Teil der Arbeit, der Robotersimulation begonnen werden. Für die Fertigungszelle wurden drei Roboterwege simuliert:

- Beladeweg der Fräsmaschine
- Beladeweg des statischen Palettenspeichers
- Beladeweg des Schweißtisches

Bei diesen Wegen ist die wichtigste Simulation jene der Fräsmaschinenbeladung, da hier die Gefahr besteht, dass die Abmessungen der Beladetüre für den Roboterarm zu gering sind.

Um eine Simulation des Roboters zu erstellen, müssen dem Roboter zuerst Positionen beigebracht werden, die später zu einem Weg verbunden werden. Um die Punkte im Raum anfahren zu können, muss der Roboter manuell zu den geforderten Positionen bewegt werden.

Die zwei wirkungsvollsten Möglichkeiten den Roboter in „RobotStudio“ zu bewegen sind dabei:

- achsweises Bewegen des Roboters
- lineares Bewegen des Roboters

Mit der ersten Option können alle Achsen des Roboters im möglichen Drehwinkel um einen vorgegebenen Winkel gedreht werden. Diese Art der Robotermanipulation eignet sich gut dafür, um eine Achse in einem gewünschten Winkel auszurichten. So kann zum Beispiel sichergestellt werden, dass der Roboterarm bei der Fräsmaschinenbeladung im rechten Winkel zur Beladetür steht.

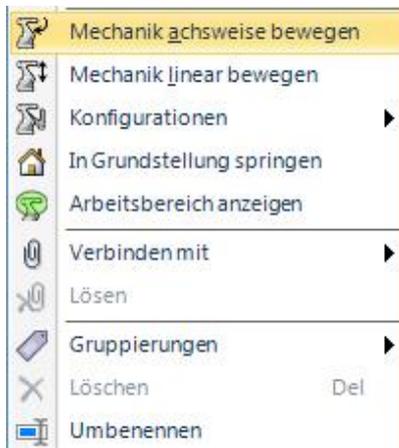


Abbildung 44: Mechanik achsweise bewegen

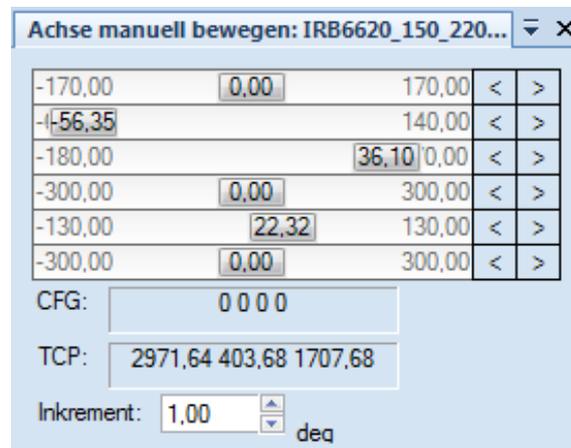


Abbildung 45: Manuelles Bewegen der Roboterachsen



Abbildung 46: Lineares Bewegen der Achsen

Eine schnellere, jedoch ungenaue Möglichkeit den Roboter zu bewegen, bietet die Option des linearen Bewegens. Hierbei werden alle Achsen des Roboters auf einmal bewegt, was zur Folge hat, dass eine lineare Bewegung des Roboterwerkzeuges möglich wird. Hierbei sind die Bewegungsmöglichkeiten jedoch auf die Richtung der Koordinatenachsen des Weltkoordinatensystems beschränkt. Da die Position des Roboters nur durch Ziehen mit der Maus modifiziert wird (siehe Abbildung 47), ist es vorteilhafter feine Positionsänderungen über die manuellen Achsbewegungen zu steuern.

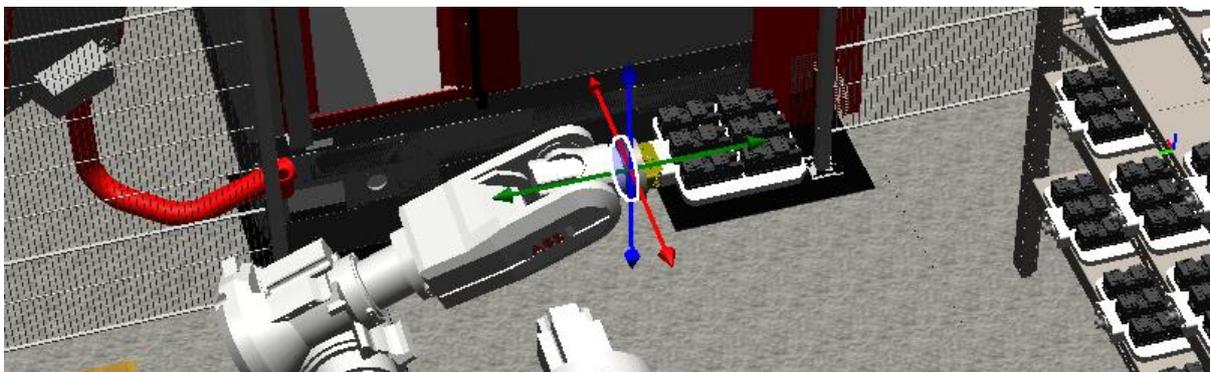


Abbildung 47: Lineares Bewegen der Roboterachsen mit der Maus



Abbildung 48: Position teachen

Nachdem der Roboter an die gewünschte Stelle bewegt wurde, kann die Position des an diesem Punkt gespeichert werden. Der benötigte Befehl, für die Speicherung der Roboterposition in der Steuerung, lautet „Position teachen“ und lässt sich unter dem Reiter „Pfade programmieren“ abrufen. Wenn ein neuer Punkt gespeichert wurde, wird dieser im linken Bearbeitungsfenster unter „Pfade und Positionen“ in der Robotersteuerung gespeichert.

Bevor ein Weg programmiert wird, ist es sinnvoll sich den allgemeinen Startpunkt des Roboters zu überlegen. Diese Position wird dem Roboter als Ausgangspunkt für jede Strecke dienen. Im Fall der Fertigungszelle wurde dieser zwischen der Fräsmaschine und der Schweißzelle, mit Blickrichtung zum statischen Palettenspeicher gewählt, da jener Punkt die kürzesten Zeiten für eine allgemeine Bearbeitung ermöglicht. Im nächsten Schritt müssen nun alle Positionen eines Weges angefahren und geteacht werden. Wenn dies erledigt ist lohnt es sich alle erstellten Punkte nach der Art des Weges und der jeweiligen Anfahrordnung zu benennen.



Abbildung 49: Erstellen eines Pfades

Nachdem alle Positionen erstellt wurden, können sie in Pfade zusammengefasst werden. Der Auswahlknopf, zur Erstellung eines neuen, leeren Pfades, befindet sich ebenfalls in der Symbolleiste „Pfade programmieren“. Wurde ein neuer Pfad erstellt, können diesem alle Wegpunkte in der abzufahrenden Reihenfolge zugeordnet werden. Auch hier soll auf eine entsprechende Benennung nicht vergessen werden. Die Bezeichnungen der Wegpunkte, für die Beladung der Fräsmaschine, sind in Abbildung 50 dargestellt.

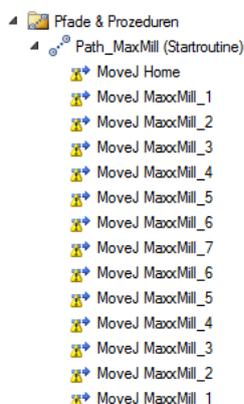


Abbildung 50: Punkte eines Pfades

Auffallend ist, dass alle Punkte im Menü mit einem gelben Warnzeichen versehen sind. Diese werden angezeigt, da noch keine Roboterkonfiguration für den jeweiligen Pfad ausgewählt wurde. Wege können mit unterschiedlichen Achskonfigurationen bewältigt werden. Mit dem Befehl „Autokonfiguration“ findet „RobotStudio“ die möglichen Varianten und es kann eine bevorzugte Art, um den Weg abzufahren, ausgewählt werden.



Abbildung 51: Verändern des Bewegungstypes

Dabei kann ausgewählt werden, ob eine Position strikt mit einer linearen Bewegung angefahren werden soll oder ob alle Achsen des Roboters verwendet werden dürfen, um das Ziel zu erreichen. Bei dieser Konfiguration lohnt es sich die Option der Achsen „Joint“ (siehe Abbildung 51) auszuwählen, da auf diese Art keine Bewegungsmöglichkeiten eingeschränkt werden und Positionen somit schneller erreichbar sind.



Abbildung 53: Synchronisation mit RAPID

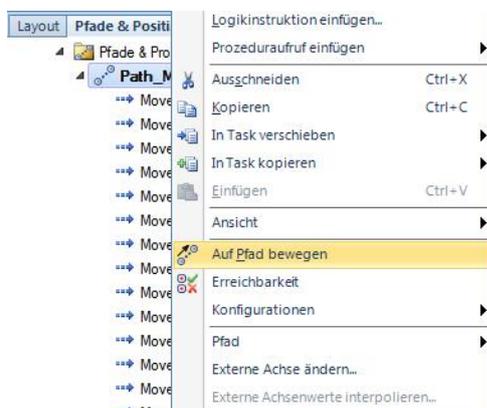


Abbildung 54: Auf Pfad bewegen

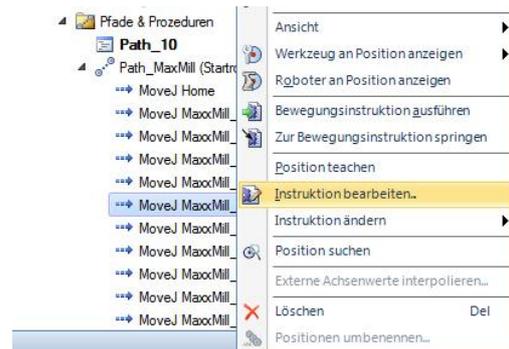


Abbildung 52: Instruktion bearbeiten

Im nächsten Schritt kann der erstellte Pfad das erste Mal getestet werden. Dafür wählt man den Befehl „Auf Pfad bewegen aus“. Durch diese Anweisung wird eine vorübergehende Verbindung mit der Steuerung aufgebaut und der Roboter fährt den Weg ab. Nachdem dieser erste Test gelungen ist, kann die Station in RAPID, der Programmiersprache von „RobotStudio“, synchronisiert werden (siehe Abbildung 53), um die wirkliche Simulation zu ermöglichen. Der letzte Schritt beinhaltet noch die Auswahl der Startroutine. Diese kann unter „Simulation einrichten“ im Unterpunkt der Robotersteuerung ausgewählt werden (siehe Abbildung 55). Mit dem Befehl „Start“ kann der erstellte Pfad nun simuliert werden.

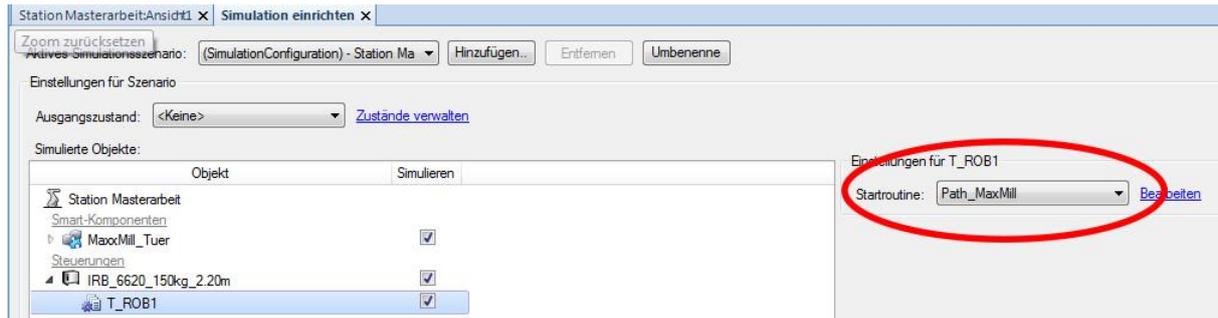


Abbildung 55: Einrichtung der Startroutine

In Abbildung 56 werden zusammenfassend alle modellierten Roboterwege gezeigt. Folgende sind die wichtigsten Wege der Zelle:

- Beladungsweg der Fräsmaschine
- Weg zum statischen Palettenspeicher
- Weg zum Drehkipptisch des Schweißroboters

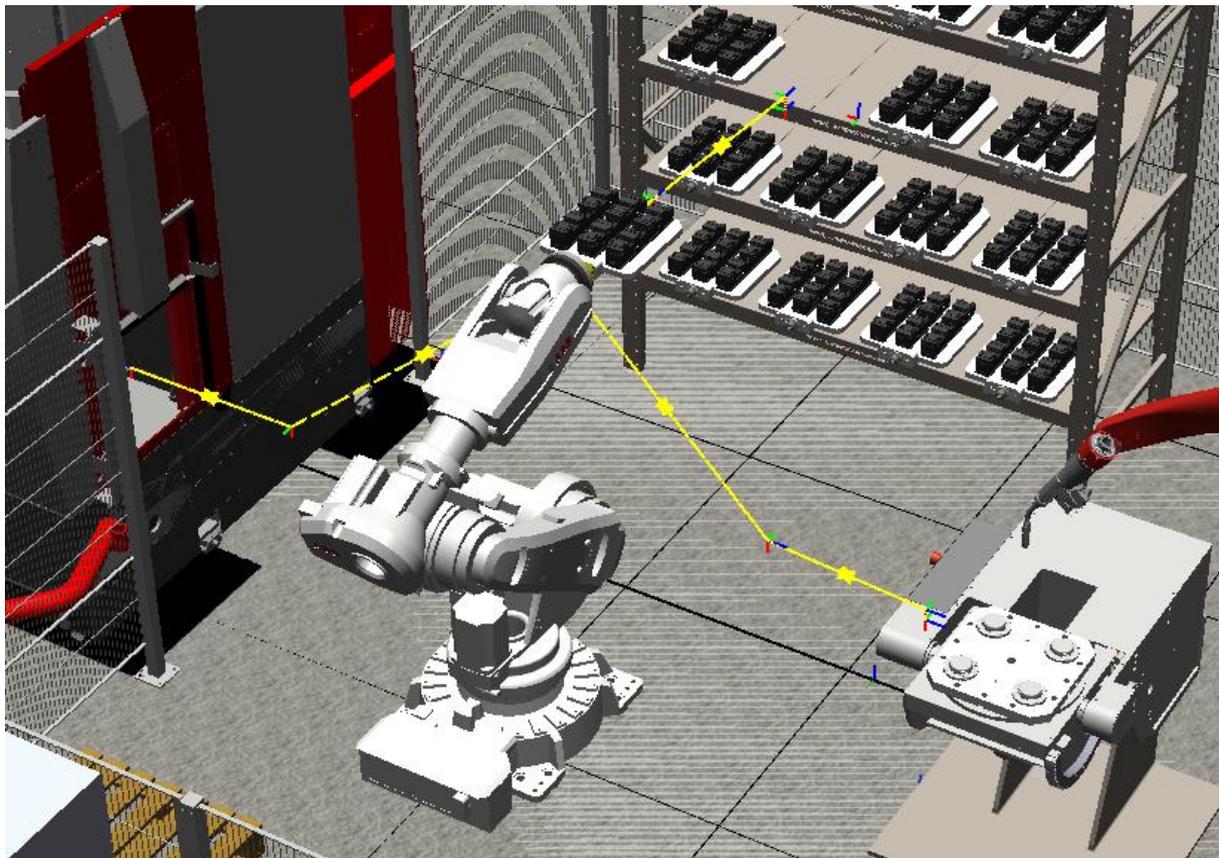


Abbildung 56: Modellierte Roboterwege

## 5.4 Auswertung der Simulation

Die Simulation konnte für mehrere wichtige Auslegungsaufgaben verwendet werden:

- Platzierung der Zellkomponenten
- Bestimmung der Roboterwege
- Kollisionsanalyse
- Messen der Zykluszeiten des Roboters
- Präsentation der Zelle

In den folgenden Kapiteln soll näher auf die einzelnen Punkte eingegangen werden.

### 5.4.1 Platzierung der Zellkomponenten

Da der Roboter einen Totbereich im hinteren Bewegungsbereich hat, muss er so angeordnet werden, dass die Rückseite des Roboters zu keiner stationären Zellkomponente blickt. Diese könnte sonst nicht erreicht werden. Mit der Simulation konnte auch die Fräsmaschine genau in Abhängigkeit zum Roboter platziert werden. Dadurch wird sichergestellt, dass bei der Beladung durch die automatische Seitentür keine Probleme entstehen.

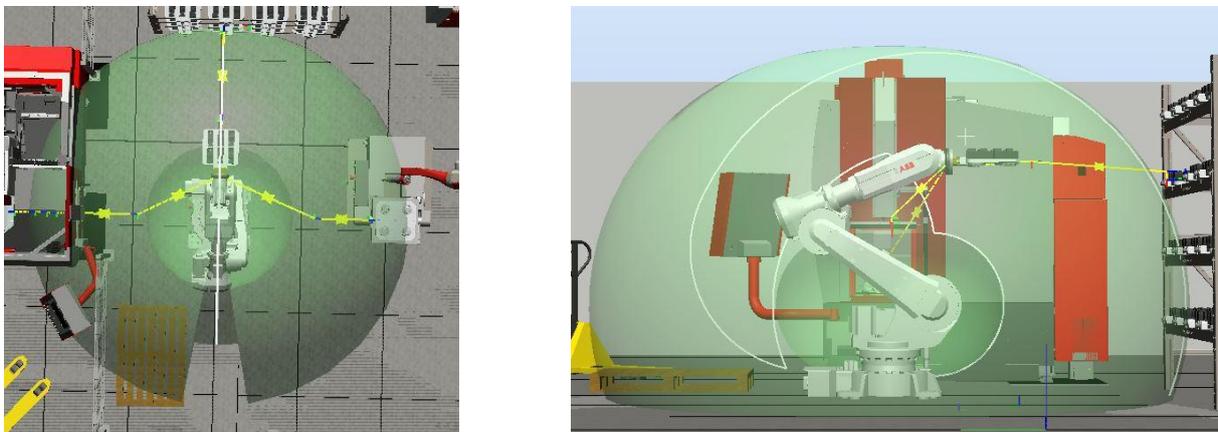


Abbildung 57: Bewegungsbereich des Roboters

In Abbildung 57 ist der Raum dargestellt in welchem sich der Roboter bewegen kann. Sichtbar ist auch der Totbereich, in dem keine Bewegung möglich ist.

### 5.4.2 Bestimmung der Roboterwege

Anhand der Simulation konnten die unterschiedlichen Roboterwege bereits offline durchgeplant werden. Das ist insbesondere deshalb wichtig, weil ein Roboter mehrere Möglichkeiten hat eine Position zu erreichen. Durch die Simulation der Roboter-

wege konnte im Vorhinein ausgeschlossen werden, dass der Roboter die Bahnen mit ungewöhnlichen Achskonfigurationen durchfährt, welche unnötig viel Zeit und Energie verbrauchen würden.

### 5.4.3 Kollisionsanalyse

Bei der Simulation wurde außerdem eine Kollisionsanalyse durchgeführt, um zu sehen, ob der Roboter die gewählten Bahnen ohne Probleme befahren kann.



Abbildung 58: Objekte des Kollisionssatzes

Um eine Kollisionsanalyse zu erstellen muss im Simulationsmenü der Befehl „Kollisionssatz erstellen“ ausgewählt werden. Nachdem dies ausgeführt wurde, taucht im Layout-Menübaum der Unterpunkt „Kollisionssatz\_1“ auf. Hier können in den zwei Ordnern „ObjekteA“ und „ObjekteB“ jeweils die Bauteile hineingezogen werden, welche auf eine gegenseitige Kollision überprüft werden sollen.

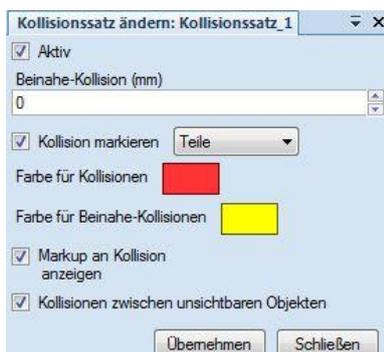


Abbildung 59: Beinahe Kollisionen

Ein weiteres sehr nützliches Feature lässt sich mit der Bearbeitung des Kollisionssatzes aufrufen. In dem auftauchenden Fenster können nämlich die Eigenschaften einer „Beinahe-Kollision“ eingestellt werden. So kann herausgefunden werden, wie viel Raum zwischen den Kollisionsobjekten ist, auch wenn sie sich nicht direkt berühren. Mit dieser Option ließ sich herausfinden, dass sich zwischen der Palette und der Beladetür nur ein Raum von 13 mm befindet. Um etwaige Probleme im Voraus auszuschließen wurde deshalb eine größere Beladetür für die Fräsmaschine bestellt.

### 5.4.4 Messen der Zykluszeiten des Roboters



Abbildung 60: Stoppuhr

Anhand der Simulation können auch Rückschlüsse auf die Nebenzeiten, der Fertigung, die beim Materialhandling entstehen gemacht werden. „Robot Studio“ ermöglicht es während der Simulation eine Stoppuhr laufen zu lassen, um genau bestimmen zu können wie lange ein Bewegungssimulation dauert. Somit kann die Gesamtzeit der Fertigung bereits in der Planung besser abgeschätzt werden.

Beispielsweise konnte mit diesem Werkzeug die Zeit gemessen werden, die für die Aufnahme einer Palette mit dem Roboter benötigt wird. Diese beträgt wie aus der folgenden Abbildung ersichtlich ist 4,104 Sekunden. Mit diesem Tool kann neben der gesamten Zeit eines Pfades auch die Zeit bis gewisse Punkte auf dem Pfad erreicht worden sind, gemessen werden.

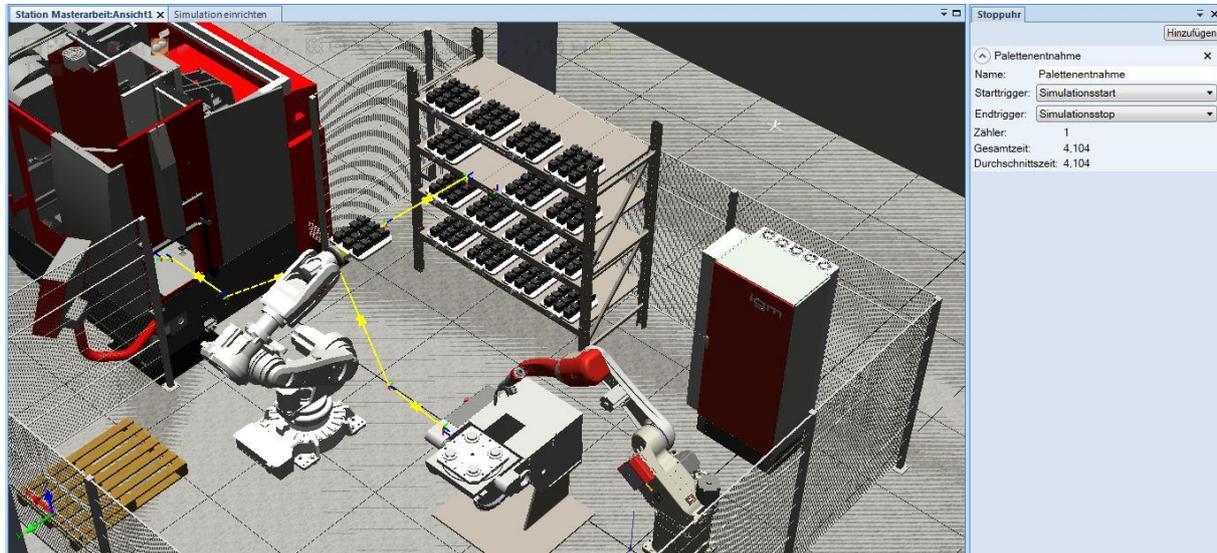


Abbildung 61: Zeitmessung des Palettenentnahmeprozesses

#### 5.4.5 Präsentation der Zelle

Ein weiterer Vorteil den die Simulation mit der modellierten Umgebung liefert, ist die Möglichkeit die flexible Fertigungszelle zu präsentieren. Dem Zuseher kann vorgeführt werden, wie die Zelle und ihre Umgebung aussehen werden und wie der Bewegungsablauf der unterschiedlichen Roboterwege durchgeführt werden kann.

## **6 Modellierung der Fertigungszelle in Virtual Reality**

### **6.1 Modellierung als 360-Grad-Bild**

#### **6.1.1 Vorbereitung**

Bei der Erstellung eines Bildes muss als erstes festgelegt werden für welche Hardware eine Anwendung erstellt werden soll. In dieser Arbeit wird als VR-Hardware ein Mobiltelefon, kombiniert mit einer „Samsung Gear VR“ Brille, verwendet. Die Umsetzung eines VR-Erlebnisses auf diesen Geräten kann nun unterschiedlich erfolgen. Hier wird die Darstellung eines 3D-Modells als 360- Grad- Panoramabild mit und ohne zusätzlichem stereoskopischem Effekt behandelt.

#### **6.1.2 Verwendete Software**

Grundsätzlich benötigt die Modellierung eines Objektes mit Einbettung in eine Virtual-Reality-Umgebung mehrere Schritte in unterschiedlichen Programmen. Der erste Schritt ist dabei die Erstellung des eigentlichen Modells mit einer CAD-Software. Für das hier beschriebene Modell wurde die mit dem Programm „SolidWorks“ modellierte Fertigungszelle verwendet. Der nächste Schritt ist das so genannte Rendern. Dabei wird aus dem erstellten CAD-Modell ein möglichst realitätsnahes Bild erzeugt. Zu berücksichtigen ist dabei die Position des virtuellen Betrachters/der virtuellen Betrachterin, das Aussehen der verschiedenen Oberflächen, welche durch die jeweiligen Materialeigenschaften bestimmt werden und eine Darstellung der Lichtverhältnisse innerhalb der Szene. Das Rendering wurde für diese Arbeit mit dem Programm „3DS Max“ durchgeführt. Für die stereoskopischen Bilder wurde außerdem die Erweiterungssoftware „VRay“ für „3DS Max“ verwendet.

### 6.1.3 Erstellen eines 360-Grad-Panoramas

Der Erste Schritt, um ein Panoramabild zu erzeugen, ist somit das Erstellen des gewünschten Modells. Dabei muss beachtet werden, dass die Größe der fertigen Datei beim Rendern später eine wichtige Rolle spielt. Je detailreicher ein Objekt ist, desto länger dauert der Renderingprozess. Daher empfiehlt es sich alle Teile die nicht sichtbar sind oder für das Bild eine untergeordnete Rolle spielen aus der Datei zu löschen. Dies gilt nicht nur für Panoramabilder, sondern auch für alle anderen.

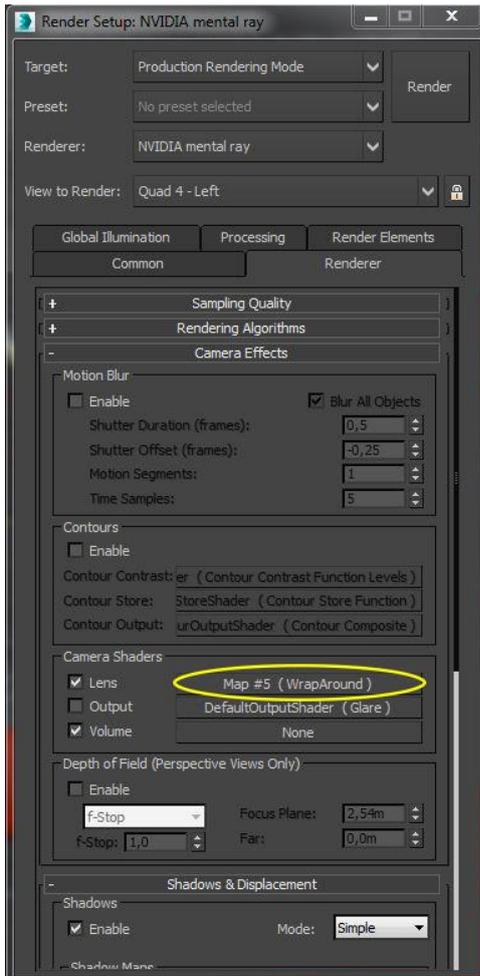


Abbildung 62: Kameraeinstellungen

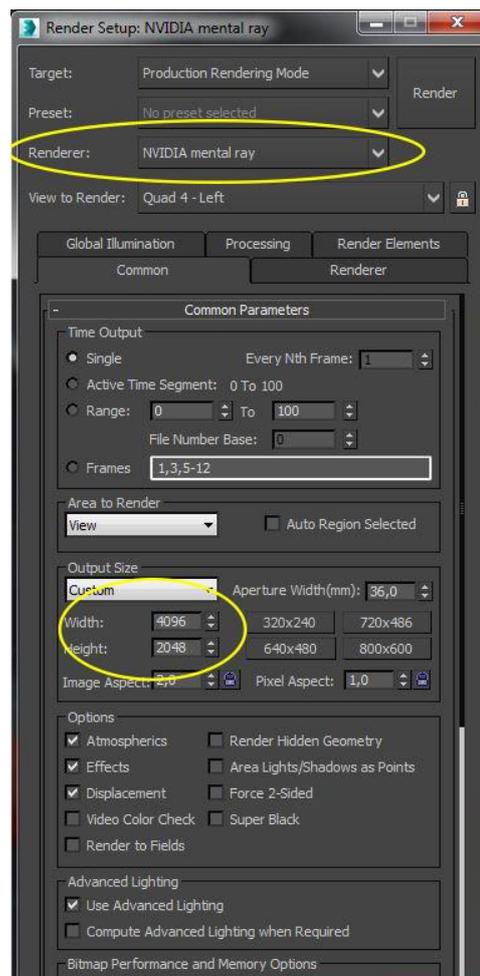


Abbildung 63: Einstellungen der Kameralinse

Nachdem nun die fertige CAD-Datei in „3DS Max“ importiert wurde, kann die virtuelle Kamera, welche das Panoramabild erstellt, in die Szene eingefügt werden. Zu beachten ist hierbei die Höhe, von der das Bild aus aufgenommen wird. Um die Größe eines Menschen möglichst gut nachzuahmen wurde die Kamerahöhe auf 1,75 m festgelegt. Danach kann das „Render Setup“ aufgerufen werden. Als Renderer hat sich für 360-Grad-Panoramas „Nvidia mental ray“ bewährt, da hier als Camera-Shader der Linsentyp „Wrap-around“ ausgewählt werden kann. Diese Einstellung sorgt dafür, dass ein Rundumbild aufgenommen werden kann. Das Seitenverhältnis sollte dabei 4096 x 2048 px betragen.

Nachdem noch die Ansicht, welche gerendert werden soll unter „View to Render“ ausgewählt wurde, kann mit Betätigung des „Render“-Befehls das Bild erstellt werden.

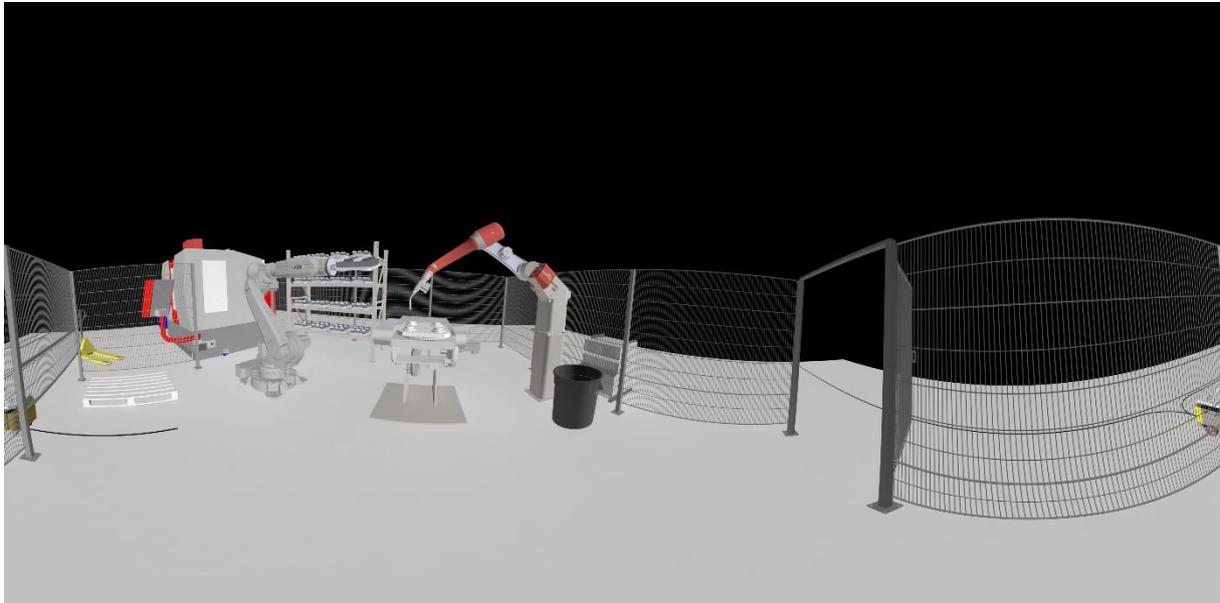


Abbildung 64: Fertig gerendertes Panoramabild

#### 6.1.4 Erstellen eines stereoskopischen 360- Grad- Panoramas

Normalerweise wird ein stereoskopisches Bild erzeugt, indem den BenutzerInnen zwei unterschiedliche Bilder gezeigt werden. Dabei sieht das linke Auge ein Bild, welches etwa 6,5 cm weiter links von dem Bild, welches das rechte Auge trifft, aufgenommen wurde. Dieser Abstand soll den Augenabstand eines durchschnittlichen Menschen nachahmen. So entsteht das Gefühl einer realen, dreidimensionalen Umgebung, welches wir normalerweise nur aus der Realität kennen. Ist das Ziel jedoch ein 360-Grad-Panorama, kann diese Technik nicht mehr angewendet werden.



Abbildung 65: Cubemapping

Hier müsste sich die stereoskopische Kamera bei der Aufnahme 360 Grad drehen, um ein Bild zu machen (vgl. [22], S.2). Würden einfach zwei Panoramabilder dargestellt werden, bei deren Aufnahmen sich die Kamera nicht mitgedreht hat, würde sich für die BenutzerInnen beim Umschauen irgendwann das rechte Bild mit dem linken überschneiden. Eine Möglichkeit dieses Problem zu umgehen, ist das so genannte

„Cubemapping“. Anstatt einer 2D-Fläche, bestehen Cubemaps aus sechs 2D-Texturen, welche die sechs inneren Flächen eines Würfels darstellen.

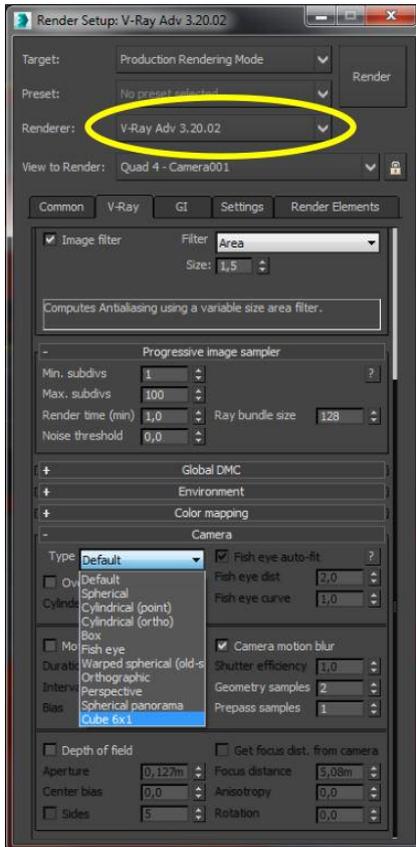


Abbildung 66: Einstellung des Renderers und des Cubemappings

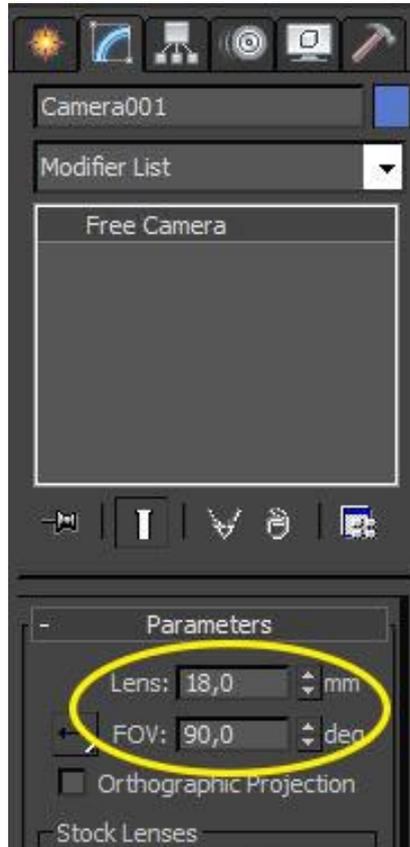


Abbildung 67: Kameraeinstellungen

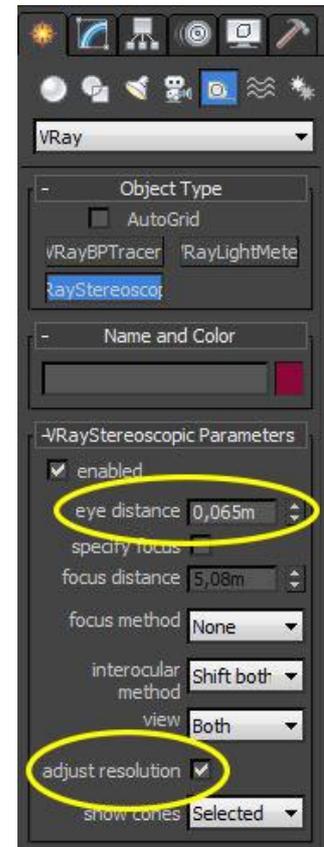


Abbildung 68: Stereoskopie Einstellungen

Der Würfel ist dabei im Fokus der Kamera zentriert und die Umgebung wird aus den 2D-Wänden aufgebaut. Die Kanten des Würfels müssen dabei vom Programm noch verzerrt werden, um eine nahtlose Panoramaaufnahme erzeugen zu können. Da ein stereoskopisches Bild entstehen soll, ergibt sich nach dem Rendern ein Bildstreifen der aus zwölf einzelnen Bildern besteht. Dabei bauen die ersten sechs Bilder den Würfel für das linke Auge und die anderen sechs den Würfel für das rechte Auge auf.

Nachdem für das stereoskopische Bild eine freie Kamera in der Szene platziert wurde, muss nun im „Render-Setup“ der Renderer „V-Ray Adv 3.20.02“ mit der Option „Cube 6x1“ ausgewählt werden. Gleichzeitig wird die Auflösung auf 6000 x 1000 px eingestellt und die Blendenöffnung auf 36 mm eingestellt. Die gesamte Auflösung des Bildes wird am Ende also 12000 x 1000 px betragen, da zwei Quader für beide Augen gerendert werden. Um ein besseres Ergebnis erzielen zu können, sollte noch die Brennweite der Kameralinse auf 18 mm gestellt und als Sichtfeld 90° gewählt werden.

Unter dem Reiter „Helper“, „VRay“, „VRay-Stereoscopic“ können nun die Feineinstellungen für die stereoskopische Kamera vorgenommen werden. Unter „eye distance“ wird der Augenabstand von 6,5 cm eingestellt und mit dem Kasten „adjust resolution“ ausgewählt, dass die Kamera die vorher im „Render-Setup“ eingestellte Auflösung verwenden soll. Mit einem Klick auf die freie Kamera wird danach ein „VRayStereoscopic“-Objekt erstellt. Um aus der freien Kamera eine stereoskopische zu machen, wird dieses Objekt im Modellbaum als Unterobjekt zur freien Kamera hinein gezogen. Nachdem nun im „Render-Setup“ die freie Kamera als zu rendernde Ansicht ausgewählt worden ist, kann das stereoskopische Bild erstellt werden.



Abbildung 69: Fertiges, stereoskopisches Panorama

## 6.2 Erstellen einer begehbaren Virtual-Reality-Umgebung der Fertigungszelle

### 6.2.1 Vorbereitungen

Um ein noch besseres Gefühl für die modellierte Fertigungszelle zu bekommen, soll die Fertigungszelle in der virtuellen Realität begehrbar sein. So ein Programm ist am besten mit einer Spiele-Engine zu verwirklichen, da sie alle benötigten Möglichkeiten bietet, um so eine Umgebung zu erstellen. Deshalb wurde für diese Modellierung das Programm „Unity“ verwendet. Das Ziel ist es ein virtuell begehrbares Modell der Fertigungszelle zu erschaffen, welches dann per Android-Mobiltelefon in einer Virtual-Reality-Brille, wie der „Google Cardboard“ oder der „Samsung Gear VR“ abgespielt werden kann. Um in „Unity“ ein Programm für Android kompilieren zu können, müssen vor dem Projektstart noch die neuesten Versionen vom „Java Developer Kit“ und „Android Studio“ installiert werden. Des Weiteren muss das Package „Google VR SDK“ für „Unity“ heruntergeladen und importiert werden. Dieses Paket von Google enthält viele voreingestellte Komponenten, die für Virtual-Reality-Anwendungen sehr nützlich sind.

### 6.2.2 Bewegung in der virtuellen Realität

Um sich im virtuellen Raum bewegen zu können, wird heute meistens ein Controller verwendet, der die Richtungsanweisungen des Users in das Programm überführt.

Das Ziel dieser Modellierung ist jedoch ein Programm zu erzeugen, welches ohne Hilfsmittel auf gängigen Android-Mobiltelefonen, benutzerfreundlich abgespielt werden kann. Um dieses Problem zu umgehen kann ein Skript in „Unity“ geschrieben werden, welches eine Bewegung durch die Neigung des Kopfes ermöglicht. Sehen die BenutzerInnen des Programmes unter einem bestimmten Winkel auf den Boden der Zelle, fängt die Bewegung in die jeweilige Blickrichtung an. Wird der Kopf mit dem Mobiltelefon wieder in die Höhe geneigt, hört die Bewegung auf und die virtuelle Kamera bleibt stehen. Da die Erstellung dieses Skriptes tiefgreifendes Wissen in der Programmiersprache C# erfordert wurde der Code von einem Videotutorial (vgl. [23]) für die Programmierung von Virtual-Reality-Anwendungen übernommen.

Das Skript für die Bewegung ist in C# folgendermaßen programmiert worden:

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class VRLookWalk : MonoBehaviour {
    //VR Main Camera
    public Transform vrCamera;
    // Winkel bei dem Gehen/Halten ausgelöst wird (x ist der Wert der Main Camera)
    public float toggleAngle = 30.0f;
    //Geschwindigkeit der Bewegung
    public float speed =100.0f;
    //Soll eine Bewegung stattfinden oder nicht
    public bool moveForward;
    //CharacterController script
    private CharacterController cc;

    // Initialisierung
    void Start () {
        // finde den CharacterController
        cc = GetComponent<CharacterController>();
    }

    // Update passiert einmal pro Frame
    void Update () {
        //Überprüfe ob der Kopf so weit geneigt ist wie toggleangle, aber nicht weiter
        //als gerade nach unten
        if(vrCamera.eulerAngles.x >= toggleAngle && vrCamera.eulerAngles.x < 90.0f){
            //Vorwärtsbewegung
            moveForward = true;
        }
        else{
            //Anhalten
            moveForward = false;
        }

        //Überprüfen ob eine Bewegung gemacht werden soll
        if (moveForward){
            //Finde die Vorwärtsrichtung
            Vector3 forward = vrCamera.TransformDirection(Vector3.forward);
            //Charakter sagen er soll sich nach vorne bewegen
            cc.SimpleMove(forward * speed);
        }
    }
}
```

### 6.2.3 Erstellen des Programmes

Um das Modell in „Unity“ importieren zu können, muss es als fbx-Datei gespeichert werden. Um die „SolidWorks“-Dateien in dieses Format zu konvertieren wird wieder das Programm „3DS Max“ verwendet. Um das Programm später problemlos auf dem Mobiltelefon abspielen zu können ist es notwendig alle unwichtigen Teile aus dem Modell zu löschen und beim Import in „3DS Max“ die Gitterfeinheit auf die niedrigste Stufe zu stellen. Die Größe der bearbeiteten Datei konnte so um das zehnfache verkleinert werden. Gleich nach dem Import kann das Modell als fbx-Datei exportiert werden.

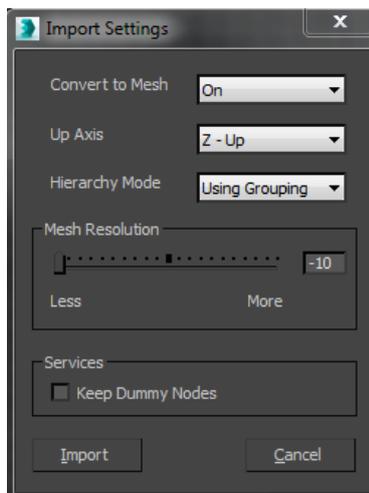


Abbildung 70: Importoptionen

Unter dem Reiter „Assets“ und „Import New Asset“ kann die Fertigungszelle in „Unity“ importiert werden. Nun muss auch die „Google VR SDK“ als „Asset“ importiert werden. In diesem Paket befindet sich nämlich auch die Datei „GvrViewerMain“. Diese erzeugt eine voreingestellte stereoskopische Kamera die für Virtual-Reality-Anwendungen ausgelegt ist. Damit später die Kamera nicht durch den Boden des Modells fällt, muss nun ein Terrain in die Szene eingefügt werden. Das Terrain ist in diesem Fall nichts anderes als eine Ebene, bei der eingestellt werden muss, dass sie Kollisionen aufnehmen kann. Der Boden der Fertigungszelle muss nun knapp an die obere Fläche der Terrainfläche verschoben werden, sodass der Boden das Terrain überlappt.

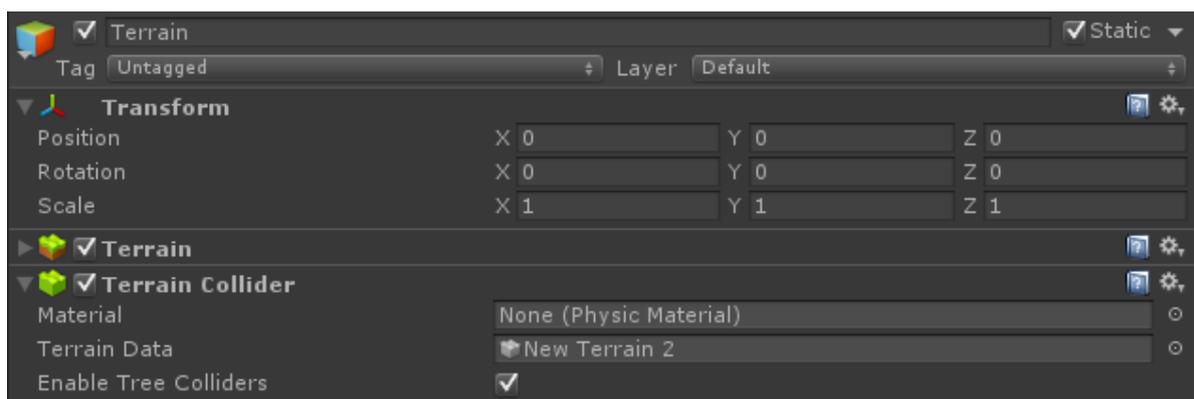


Abbildung 71: Einstellungen des „Terrain-Colliders“

Im nächsten Schritt muss zur „Main Camera“ ein „Character Controller“ hinzugefügt werden. Dieser dient als Avatar im virtuellen Raum, welcher später im Raum bewegt wird und dessen „Augen“ die stereoskopische Kamera für die VR-Bilder darstellen. Die Figur in der Zelle wird dabei durch einen kapselförmigen Körper dargestellt. Standardmäßig ist die Kamera in der Mitte dieses Körpers platziert. Eine Einstellung die noch geändert werden muss, ist die Höhe des Charakters. Diese ist für die

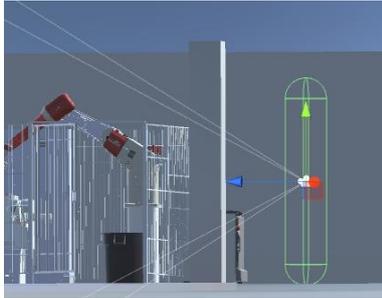


Abbildung 72: „Character Controller“ mit Kamera in der Mitte

richtige Kameraposition und somit für die Augenhöhe in der VR-Anwendung verantwortlich. Daher sollte nach der Einstellung der „Character Controller“-Optionen die Szene getestet werden, um zu überprüfen, ob eine realistische Kamerahöhe gewählt wurde.

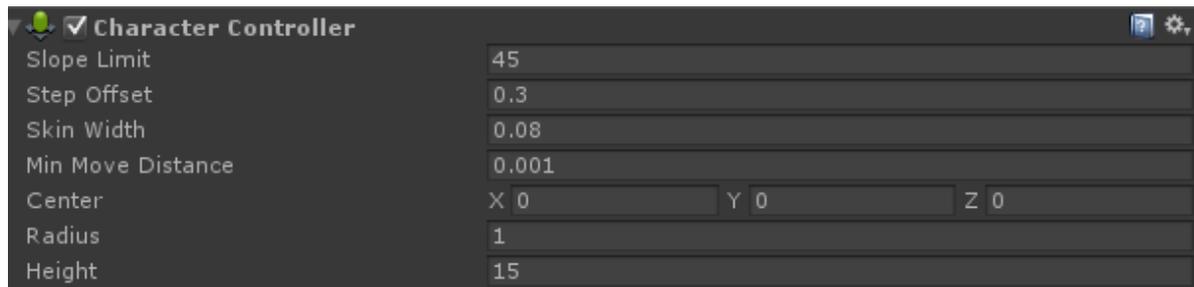


Abbildung 73: Einstellungen des „Character Controllers“

Jetzt kann das Skript, welches für die Bewegung zuständig ist zur „Main Camera“ hinzugefügt werden. Damit dieses Skript funktioniert muss noch die „Main Camera“ in den Einstellungen als VR Kamera ausgewählt werden. Zusätzlich können der Winkel bei dem eine Bewegung stattfindet und die Geschwindigkeit des Charakters geändert werden, da diese Variablen im Skript als public float definiert wurden.

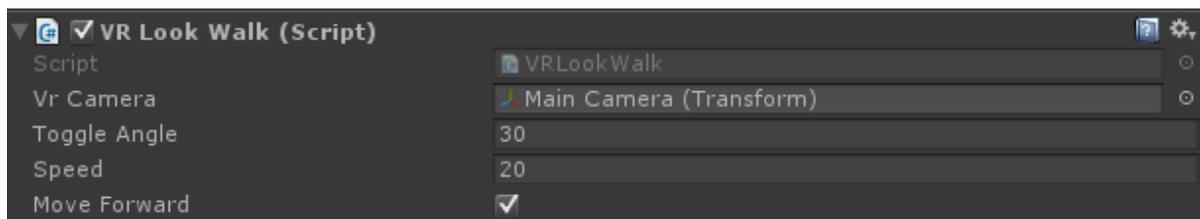


Abbildung 74: Einstellungen des Bewegungsskriptes

Nun können unter den „Build Settings“ alle Einstellungen für die Erstellung des Programms vorgenommen werden.

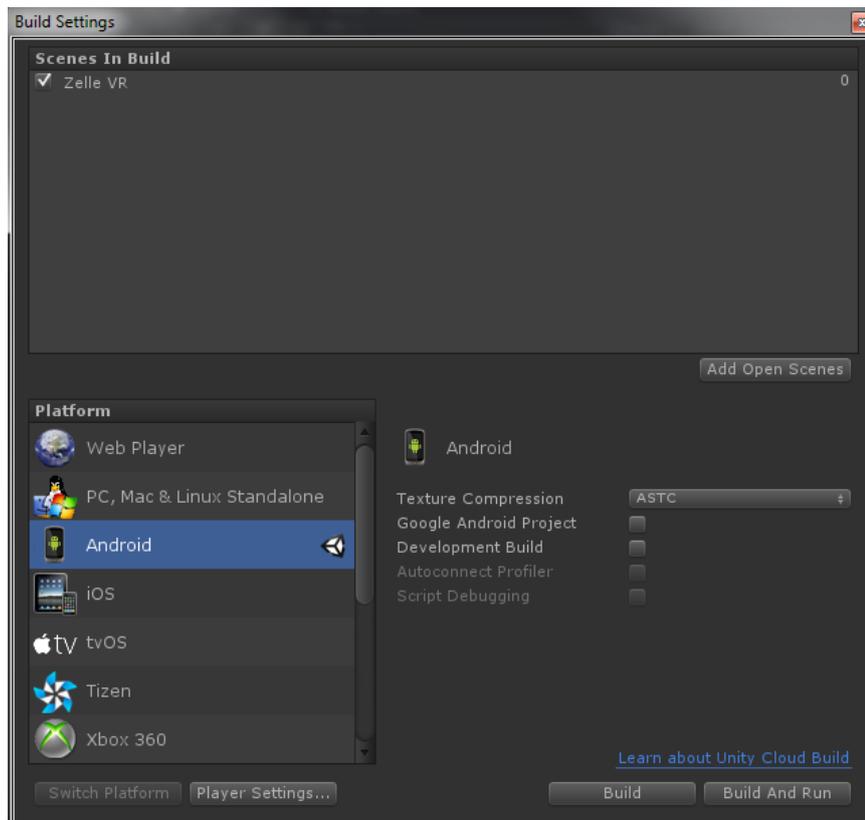


Abbildung 75: Build Settings

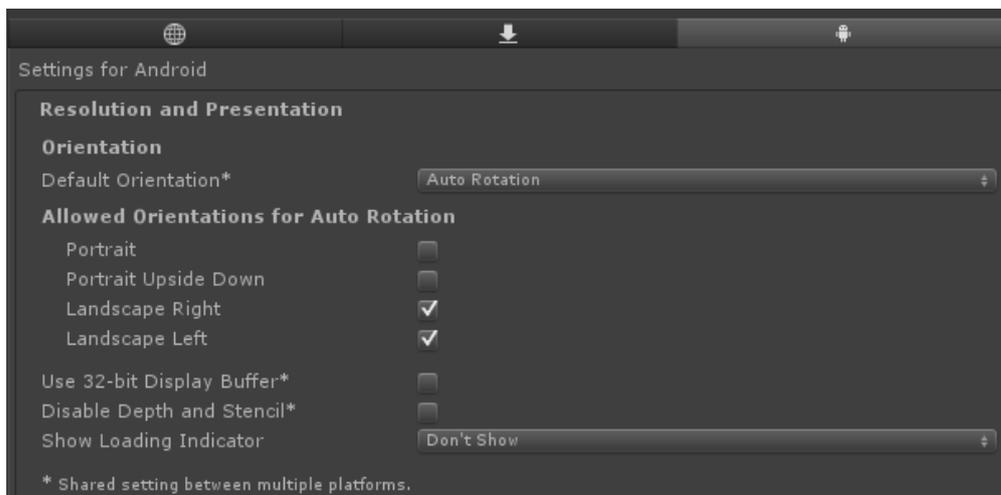


Abbildung 76: Einstellungen für die BildschirmAusrichtung des Mobiltelefons

Unter „Player Settings“ befinden sich dann weitere Feineinstellungen, mit denen die Eigenschaften des Programmes für den Gebrauch am Mobiltelefon eingestellt werden können. Hierbei befinden sich die wichtigsten Einstellungsmöglichkeiten unter dem Reiter „Android Settings“. Dort kann zum Beispiel eingestellt werden, dass sich die Bildschirmausrichtung nur im Landschaftsmodus dreht und eine Portraitanzeige ausgeschlossen wird (siehe Abbildung 74). Wichtig ist auch, dass die Einstellung „Virtual Reality Supported“ ausgeschaltet bleibt. Das Aktivieren dieser Option würde

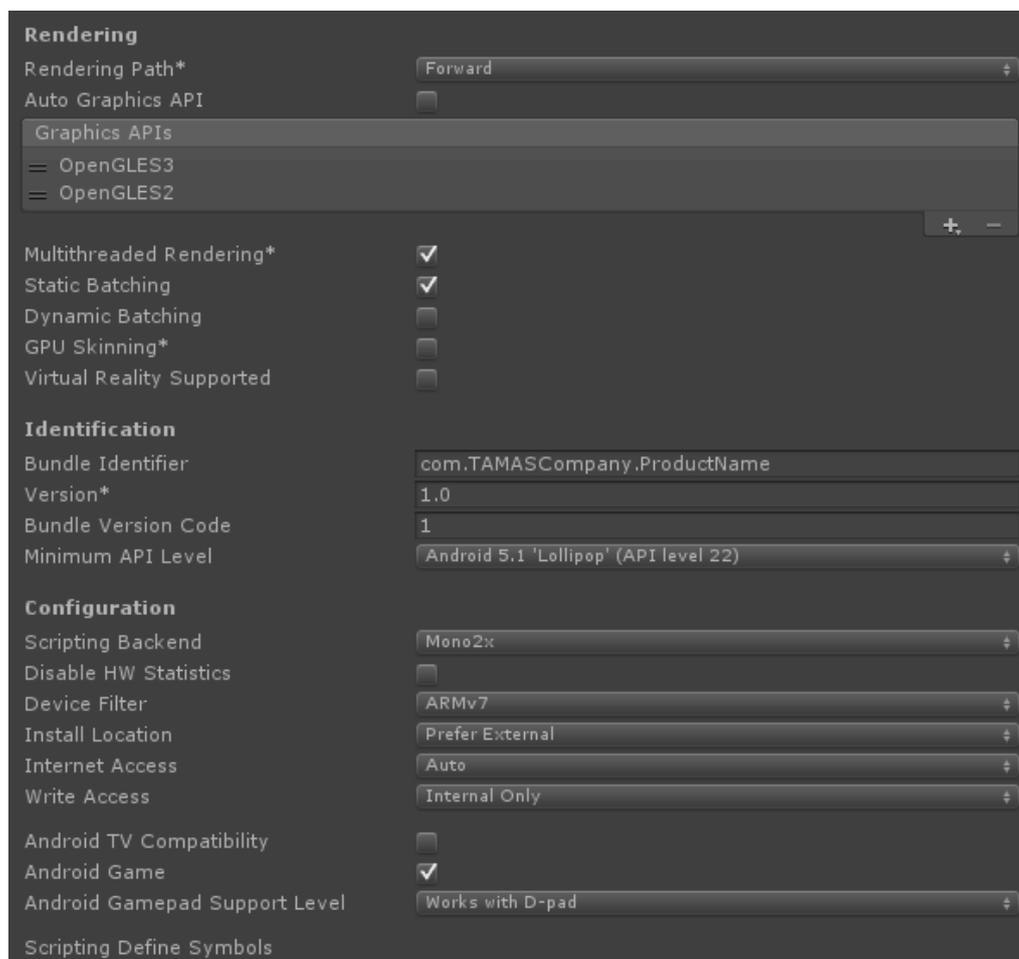


Abbildung 77: Weitere Android-Einstellungen

dazu führen, dass dieses Programm nur mit einer „Samsung Gear VR“ abgespielt werden kann, wobei es auch auf billigeren „Google Cardboard“ Brillen funktionieren soll. Eine weitere wichtige Einstellung ist die Auswahl des frühesten kompatiblen Android-Betriebssystems, mit dem das Programm kompatibel ist.

Wurden alle Einstellungen richtig durchgeführt, kann unter „Build and Run“ (Siehe Abbildung 73) das Programm erstellt werden. Nun muss es nur noch auf den Speicher eines Mobiltelefons gebracht werden, um es dann darauf installieren zu können.

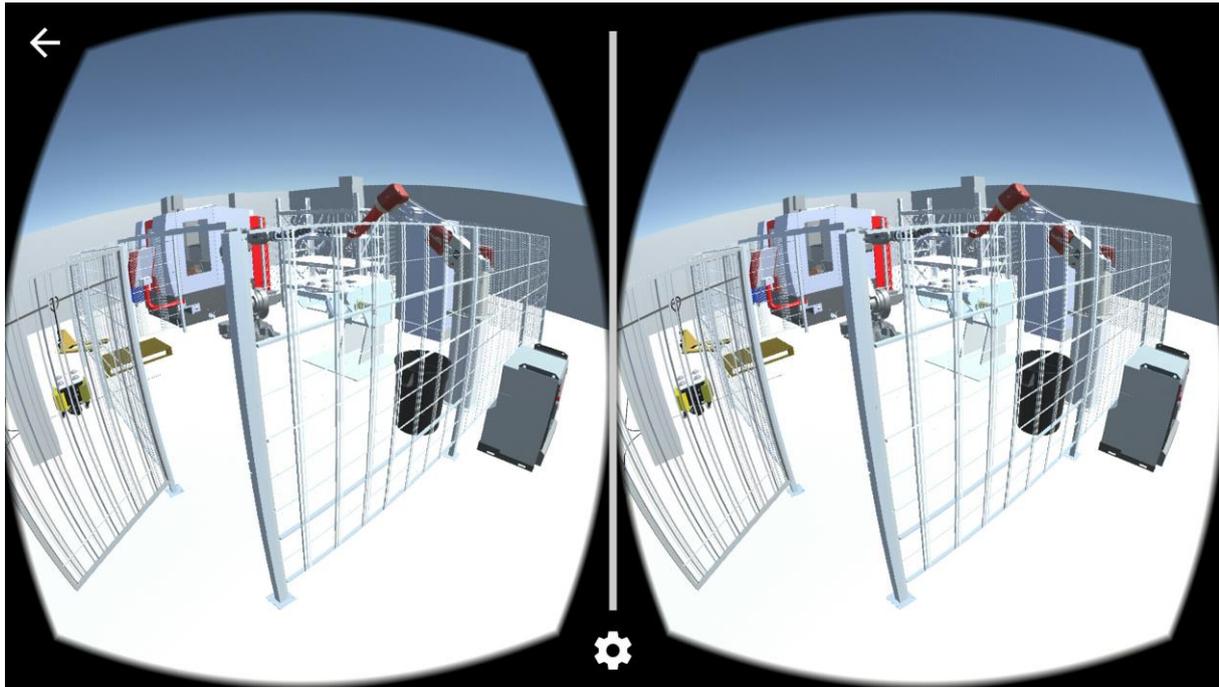


Abbildung 78: Bildschirmaufnahme des Endergebnisses auf einem Mobiltelefon

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden Methoden für die Planung von Projekten aufgezeigt und mit ihrer Hilfe wurde die Auslegung von einer zukunftsorientierten flexiblen Fertigungszelle durchgeführt. Danach wurde diese Zelle, mit allen in der Planungsphase bestimmten Komponenten, mit dem Programm „SolidWorks“ modelliert. In „RobotStudio“ wurde dieses Modell dann weiterverwendet, um eine erste virtuelle Inbetriebnahme durchzuführen. Diese bestand aus der Simulation der wichtigsten Roboterpfade und war wichtig, um die Funktionalität der ausgelegten Fertigungszelle und ihrer Bausteine zu überprüfen. Nach der Auslegung wurde die Zelle auf mehrere Arten in Virtual Reality modelliert um eine moderne Art der Präsentation zu ermöglichen.

Diese Arbeit soll zeigen, welche Vorkehrungen nötig sind, um eine Fertigung auch für die Zukunft ausreichend modern zu planen. Durch das stetige Zusammenwachsen und der steigenden globalen Vernetzung kommt es im Bereich der Fertigung zu einem immer größer werdenden Konkurrenzkampf zwischen Unternehmen auf der ganzen Welt. Um mit billig produzierenden Wettbewerbsteilnehmern mithalten zu können, müssen fertigungstechnische Unternehmen in Zukunft eine Effizienzerhöhung anstreben. Durch eine flexiblere Fertigung kann bei erhöhter Produktivität auch besser auf Änderungen der Produkte eingegangen werden. Neben neuen Technologien, welche in den Fertigungsmaschinen zum Einsatz kommen, ist es aber auch wichtig moderne Planungsmethoden beim Aufbau einer Produktion zu implementieren. Einen wichtigen Fortschritt im Bereich dieser Planungsstufe werden in Zukunft wohl auch Virtual Reality und Augmented Reality bieten.

Der Begriff „Industrie 4.0“ ist derzeit in aller Munde, wenn es um die Zukunft der Industrie geht. Ein Schlüsselpunkt auf den diese digitale Revolution aufbaut ist die Implementierung von Virtual Reality und Augmented Reality als Verbindung zwischen Mensch und Maschine. Diese Technologien können zusätzliche Kompetenzen verleihen, benutzerfreundlichere Bedienung erlauben und die Motivation zur Verwendung von Systemen erhöhen. Durch sie kann daher in Zukunft die Gebrauchstauglichkeit von Maschinen und Produkten in einem hohen Maß gesteigert werden.

Besonders in den letzten Jahrzehnten hat sich ein Trend zu einer ständig wachsenden Flexibilität in der Fertigung gezeigt. Es ist zu erwarten, dass diese Entwicklung in der Zukunft sogar noch an Wichtigkeit zunehmen wird, um den ständig wachsenden Anforderungen gerecht zu werden. Große Unternehmen müssen sich immer mehr bemühen, um auf dem neuesten Stand der Technik zu bleiben. Auf diese Art können der globale Wettbewerb erfolgreich bewältigt und die immer anspruchsvolleren Kunden zufriedengestellt werden. Im Bereich der Fertigung wird es immer wichtiger auf Änderungen schnell und adäquat reagieren zu können und der Konkurrenz einen

Schritt voraus zu sein. Zum Erreichen dieses Zieles ist es für Unternehmen wichtig sich auch mit neuen Konzepten zu beschäftigen und auch Technologien in die Fertigung zu integrieren, welche sich eventuell noch nicht im großen Stil durchgesetzt haben.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Verein Deutscher Ingenieure  
VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Mai 1993, S.9  
Bild 3.3 Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [2] E. Uhlmann  
Flexible Fertigungssysteme, 2008  
([http://www.iwf.tu-berlin.de/uploads/media/WZM\\_II\\_VL\\_09\\_-\\_Flexible\\_Fertigungssysteme.pdf](http://www.iwf.tu-berlin.de/uploads/media/WZM_II_VL_09_-_Flexible_Fertigungssysteme.pdf))
- [3] W. Dostal, A. W. Kamp, M. Lahner, W. P. Seessle  
Sonderdruck aus: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung  
Flexible Fertigungssysteme und Arbeitsplatzstrukturen, 1982  
([http://doku.iab.de/mittab/1982/1982\\_2\\_mittab\\_dostal\\_kamp\\_lahner\\_seessle.pdf](http://doku.iab.de/mittab/1982/1982_2_mittab_dostal_kamp_lahner_seessle.pdf))
- [4] F. Bleicher, B. Kittl  
Skriptum Industrielle Fertigungssysteme, 2013  
TU Wien
- [5] W. Skolaut  
Maschinenbau  
DOI 10.1007 / 978-3-8274-2554-6\_1  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014
- [6] A. Fandl  
Einsatz von Vorgehensmodellen, 2015  
([http://www.infrasoft.at/downloads/Vorgehensmodelle\\_in\\_der\\_Softwareentwicklung.pdf](http://www.infrasoft.at/downloads/Vorgehensmodelle_in_der_Softwareentwicklung.pdf))
- [7] C. Johner  
V-Modell, o.J.  
(<http://www.johner.org/tech-docs/softwareentwicklung/entwicklungsprozesse/v-modell/>)
- [8] M. Kuhrmann  
Spiralmodell, o.J.  
(<http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/is-management/Systementwicklung/Vorgehensmodell/Spiralmodell>)
- [9] Y. Koord, V. Krauter  
Überblick Vorgehensmodelle im Projektmanagement, 2009  
([http://winfwiki.wifom.de/index.php/%C3%9Cberblick\\_Vorgehensmodelle\\_im\\_Projektmanagement#V-Modell](http://winfwiki.wifom.de/index.php/%C3%9Cberblick_Vorgehensmodelle_im_Projektmanagement#V-Modell))

- [10] J. Rho  
CS10427: Virtual-Augmented Reality for Construction, Utilizing Gear VR, 2015  
(<http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2015/revit-for-architects/cs10427#chapter=0>  
Abgerufen am, 14.07. 2016)
- [11] S. Wiesend  
AR- & VR-Lösungen im Unternehmen, 2016  
(<http://www.computerwoche.de/a/ar-und-vr-loesungen-im-unternehmen,3217983>)
- [12] C. Metz  
Virtual und Augmented Reality in Industrie und Militär, 2004  
([http://www.medien.ifi.lmu.de/fileadmin/mimuc/hs\\_2004/ausarbeitung\\_metz.pdf](http://www.medien.ifi.lmu.de/fileadmin/mimuc/hs_2004/ausarbeitung_metz.pdf))
- [13] A. Huber-Straßer  
Neue Dimensionen der Realität, 2016  
(<https://home.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/virtual-reality-exec-summary-de.PDF>)
- [14] D. Schart  
Augmented Reality in der Industrie, o.J.  
(<https://www.wearear.de/augmented-reality-in-der-industrie/>)
- [15] H. Glockner, K. Jannek, J. Mahn, B. Theis  
Augmented Reality in Logistics, 2014  
([http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about\\_us/logistics\\_insights/csi\\_augmented\\_reality\\_report\\_290414.pdf](http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/csi_augmented_reality_report_290414.pdf))
- [16] B. Ederer  
MINI Goes Virtual Reality, 2015  
(<https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0234122EN/mini-goes-virtual-reality?language=en>)
- [17] J.K. Janssen  
Audi Händler installieren Virtual-Reality-Stationen, 2015  
(<http://www.heise.de/newsticker/meldung/Audi-Haendler-installieren-Virtual-Reality-Stationen-3054946.html>)
- [18] J. Tißler  
Über 20 Beispiele für das Potenzial von Virtual Reality – jenseits von Spielen, 2015  
(<http://upload-magazin.de/blog/10600-ueber-20-beispiele-fuer-das-potenzial-von-virtual-reality-jenseits-von-spielen/>)
- [19] F. Bleicher  
Präsentationsunterlagen: Pilotfabrik 4.0 der TU Wien, 2015

- [20] D. Gerhard  
LVA 307414: Virtuelle Produktentwicklung, 2014  
Vorlesung 2: Frühe Phasen, Methodik
- [21] M. Schmitz  
Flexibel automatisierte Fertigungssysteme  
ISBN 978-3-322-95437-4, Deutscher Universitätsverlag, 1994
- [22] P. Bourke  
Synthetic stereoscopic panoramic images, 2002  
(<http://paulbourke.net/papers/vsмм2006/vsмм2006.pdf>)
- [23] R. Zehm  
[Tutorial] Movement In Mobile VR: Look Walk, abgerufen am 2.Oktober 2016  
<https://www.youtube.com/watch?v=kBTn2pGwZUk>

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung der Fertigungssysteme.....	5
W. Skolaut Maschinenbau, S.1132, Abb.32.20 Einteilung der Fertigungssysteme DOI 10.1007 / 978-3-8274-2554-6_1 Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014	
Abbildung 2: Wasserfallmodell .....	7
Eigenes Werk	
Abbildung 3: Aufbau eines V-Modells.....	9
Eigenes Werk	
Abbildung 4: Spiralmodell.....	12
Eigenes Werk	
Abbildung 5: Unterschiedliche Arten der virtuellen Realität .....	14
<a href="http://haerter.com/wp-content/uploads/2014/07/Haerter_werkzeugbau_1.jpg">http://haerter.com/wp-content/uploads/2014/07/Haerter_werkzeugbau_1.jpg</a> <a href="http://www.techviz.net/wp-content/uploads/Home_Small_Banner_HMD.jpg">http://www.techviz.net/wp-content/uploads/Home_Small_Banner_HMD.jpg</a>	
Abbildung 6: Virtuelle Tour durch eine Fertigungshalle von Detroit™ Redford Plant	15
<a href="http://vatour-dev.com/system/tours/daimlerdetroit/tourfiles/index.html?id=2756">http://vatour-dev.com/system/tours/daimlerdetroit/tourfiles/index.html?id=2756</a>	
Abbildung 7: Eine Augmented Reality- App der Firma Stoll von Gáti .....	15
<a href="http://media.stollvongati.com/files/pics/projekte/optima/optima_messe_ar_app/optima_messe_ar_app_hero.jpg">http://media.stollvongati.com/files/pics/projekte/optima/optima_messe_ar_app/optima_messe_ar_app_hero.jpg</a>	
Abbildung 8: VR und AR als Grundpfeiler der Industrie 4.0.....	16
A.Roth Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Springer Gabler, 2016	
Abbildung 9: “EYESIM 3D” immersives Virtual-Reality-Trainings-System.....	17
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=bsuHGOPj1bc">https://www.youtube.com/watch?v=bsuHGOPj1bc</a> Abgerufen, am 27. August 2016	
Abbildung 10: Einsatz von „CAVE“ bei AUDI.....	18
<a href="http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/themes/2015/07/audi_augmented.img.html/infodetail/images/textimage_1/image/494px_3_Cave.jpg">http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/themes/2015/07/audi_augmented.img.html/infodetail/images/textimage_1/image/494px_3_Cave.jpg</a>	
Abbildung 11: Produktvisualisierung bei SAG .....	19
<a href="https://www.wearear.de/wp-content/uploads/2013/08/SAG-Produktvisualisierung-interaktiv.png">https://www.wearear.de/wp-content/uploads/2013/08/SAG-Produktvisualisierung-interaktiv.png</a>	
Abbildung 12: Überprüfung einer Maschine mit der Hololens.....	19
<a href="https://img.factorynet.at/11377/800-0-1.85/1/tieto-hololens/hololensfinal.jpg">https://img.factorynet.at/11377/800-0-1.85/1/tieto-hololens/hololensfinal.jpg</a>	

Abbildung 13: Instandhaltung mit Augmented Reality .....	20
<a href="http://www.magellium.com/wp-content/uploads/2014/04/RAI_600x350.jpg">http://www.magellium.com/wp-content/uploads/2014/04/RAI_600x350.jpg</a>	
Abbildung 14: Vision Picking .....	21
<a href="http://www.mhi.org/images/industrygroups/ofs/solutions-guide/visionPicking02.jpg">http://www.mhi.org/images/industrygroups/ofs/solutions-guide/visionPicking02.jpg</a>	
Abbildung 15: AUDI VR-Showroom.....	22
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=fvQS8ImnSsw">https://www.youtube.com/watch?v=fvQS8ImnSsw</a> Abgerufen, am 29. August 2016	
Abbildung 16: Konzeptaufbau der Fertigungszelle .....	25
Eigenes Werk	
Abbildung 17: Konzeptaufbau der Schweißkomponenten von der Firma IGM .....	25
Demonstrationsmodelle der Firma IGM	
Abbildung 18: Blackboxmodell der gesamten Fertigungszelle.....	29
Eigenes Werk	
Abbildung 19: Blackboxmodell der Fräsmaschine .....	29
Eigenes Werk	
Abbildung 20: Blackboxmodell des Handlingroboters.....	29
Eigenes Werk	
Abbildung 21: Blackboxmodell der Schweißzelle .....	30
Eigenes Werk	
Abbildung 22: Schematische Übersicht der Fertigungszelle.....	32
Eigenes Werk	
Abbildung 23: MaxxMill 500.....	34
<a href="http://www.emco-world.com/de/produkte/industrie/fraesen/cat/79/d/1/p/79.html">http://www.emco-world.com/de/produkte/industrie/fraesen/cat/79/d/1/p/79.html</a>	
Abbildung 24: RTE 496-S.....	34
Bild direkt bezogen von IGM	
Abbildung 25: RP2-300A .....	35
Bild direkt bezogen von IGM	
Abbildung 26: Maschinentisch.....	38
Abgeleitet aus dem 3D-Modell der MaxxMill 500-Fräsmaschine	
Abbildung 27: PAL A 399x399.....	38
Schunk Katalog, 2014 Stationäre Spanntechnik S.59	

Abbildung 28: NSE plus.....	38
<a href="http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/7038-4213159.jpg">http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/7038-4213159.jpg</a>	
Abbildung 29: NSA plus.....	38
<a href="https://www.ctemag.com/sites/www.ctemag.com/files/styles/product_image/public/product_images/0114-SchunkNSAplus.jpg?itok=kzC-2q3c">https://www.ctemag.com/sites/www.ctemag.com/files/styles/product_image/public/product_images/0114-SchunkNSAplus.jpg?itok=kzC-2q3c</a>	
Abbildung 30: Bearbeitetes Modell .....	41
Eigenes Werk, SolidWorks	
Abbildung 31: Fertiges Zellenlayout .....	42
Eigenes Werk, SolidWorks	
Abbildung 32: Schaltflächen für die Materialbearbeitung.....	42
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 33: Roboterflansch mit versetztem .....	43
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 34: Schaltfläche zum Erstellen des Werkzeugs .....	43
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 35: Fenster zur Werkzeugerstellung .....	44
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 36: Mit Roboter verbundenes Werkzeug .....	44
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 37: verdrehte Palette .....	45
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 38: Erstellen des Koordinatensystems am Eck der Palette .....	45
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 39: Position festlegen .....	46
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 40: Abweichungen bei der .....	46
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 41: Schaltfläche: „Lokalen Ursprung festlegen“ .....	46
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 42: Festlegen des Lokalen Ursprungs .....	46
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	

Abbildung 43: Fertiges Zellenlayout in „RobotStudio“ .....	47
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 44: Mechanik achsweise bewegen .....	48
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 45: Manuelles Bewegen der Roboterachsen .....	48
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 46: Lineares Bewegen der Achsen .....	48
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 47: Lineares Bewegen der Roboterachsen mit der Maus .....	48
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 48: Position teachen .....	49
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 49: Erstellen eines Pfades .....	49
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 50: Punkte eines Pfades .....	49
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 51: Verändern des Bewegungstypes .....	50
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 52: Instruktion bearbeiten .....	50
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 53: Synchronisation mit RAPID .....	50
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 54: Auf Pfad bewegen .....	50
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 55: Einrichtung der Startroutine .....	51
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 56: Modellierte Roboterwege .....	51
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 57: Bewegungsbereich des Roboters .....	52
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 58: Objekte des Kollisionssatzes .....	53
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	

Abbildung 59: Beinahe Kollisionen .....	53
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 60: Stoppuhr .....	53
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 61: Zeitmessung des Palettenentnahmevorgangs.....	54
Eigenes Werk, ABB RobotStudio	
Abbildung 62: Kameraeinstellungen .....	56
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 63: Einstellungen der Kameralinse .....	56
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 64: Fertig gerendertes Panoramabild .....	57
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 65: Cubemapping .....	57
<a href="https://judegodin.files.wordpress.com/2011/12/image_strip1.png">https://judegodin.files.wordpress.com/2011/12/image_strip1.png</a>	
Abbildung 66: Einstellung des Renderers und des Cubemappings .....	58
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 67: Kamera-einstellungen.....	58
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 68: Stereoskopie Einstellungen .....	58
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 69: Fertiges, stereoskopisches Panorama.....	59
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 70: Importoptionen.....	61
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 71: Einstellungen des „Terrain-Colliders“ .....	61
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 72: „Character Controller“ mit Kamera in der Mitte .....	62
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 73: Einstellungen des „Character Controllers“ .....	62
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 74: Einstellungen des Bewegungsskriptes .....	62
Eigenes Werk, 3DS Max	

---

Abbildung 75: Build Settings.....	63
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 76: Einstellungen für die Bildschirmausrichtung des Mobiltelefons.....	63
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 77: Weitere Android-Einstellungen .....	64
Eigenes Werk, 3DS Max	
Abbildung 78: Bildschirmaufnahme des Endergebnisses auf einem Mobiltelefon ....	65
Eigenes Werk, Bildschirmaufnahme, Samsung Note	

## 10 Tabellenverzeichnis

### **Tabelle 1: Morphologischer Kasten ..... 32**

Sicherheitszaun

<http://www.robotunits.com/contentimages/Robotunits-Schutzzaunsystem.jpg>

Lichtschraken

[http://www.scope-online.de/upload\\_weka/9308580\\_big\\_865591.jpg](http://www.scope-online.de/upload_weka/9308580_big_865591.jpg)

Optisches System

<http://www.ashdale.co.uk/items/idimages/222gallery.gif>

Laserscanner

[http://www.sps-magazin.de/muelow/LAS2005\\_120869\\_11.jpg](http://www.sps-magazin.de/muelow/LAS2005_120869_11.jpg)

Einfachspanner

[http://www.gressel.ch/medium/storage/media/bilder/solinos\\_100/bilder\\_300x300px/KLH.100.001.01\\_Standard\\_auf\\_Platte.png](http://www.gressel.ch/medium/storage/media/bilder/solinos_100/bilder_300x300px/KLH.100.001.01_Standard_auf_Platte.png)

Mehrfachspanner

[https://de.schunk.com/fileadmin/\\_processed\\_/csm\\_IM0013619\\_d228fc05ab.jpg](https://de.schunk.com/fileadmin/_processed_/csm_IM0013619_d228fc05ab.jpg)

Spannturm

[http://www.gressel.ch/square/storage/media/bilder/spannloesungen/web\\_format/Aufspannturm%20mit%20C2.png](http://www.gressel.ch/square/storage/media/bilder/spannloesungen/web_format/Aufspannturm%20mit%20C2.png)

Pyramide

<http://www.gressel.ch/de/katalog/pyramide-mit-mechanischemnullpunkt-spannsystem-gredoc-pyramide/gredoc-pyramide.html>

ABB 6620

<http://abbimageservice.cloudapp.net/public/images/f99975cc-0372-4ca5-a6d8-d68786639dfe/preview.jpg?target=http%3a%2f%2fabbccloud.blob.core.windows.net%2fpublic%2fimages%2ff99975cc-0372-4ca5-a6d8-d68786639dfe%2fpreview.jpg%3fcrop%3d0%2c0%2c400%2c368%26width%3d400%26height%3d368&key=540d2752b845dc4e10eb2fc3209e995e>

ABB 6640

<http://abbimageservice.cloudapp.net/public/images/5f5a7e29-777e-420b-8f2d-f376f329cbf3/preview.jpg?target=http%3a%2f%2fabbccloud.blob.core.windows.net%2fpublic%2fimages%2f5f5a7e29-777e-420b-8f2d-f376f329cbf3%2fpreview.jpg%3fcrop%3d0%2c0%2c400%2c344%26width%3d400%26height%3d344&key=fd23f08590ed4dacbbf79fdeaf8216d5>

Stäubli TX 200

<https://www.logismarket.pt/ip/staebli-espanola-robot-industrial-robot-industrial-tx200-740509-FGR.jpg>

Paletten Kettenband

<http://www.kbh-maschinenbau.de/produkte/palettenkettenband/palettenkettenband2.jpg>

Wanderrollenband

<http://www.kbh-maschinenbau.de/produkte/wanderrollenband/wanderrollenband3.jpg>

Paletten Umlaufband

<http://www.kbh-maschinenbau.de/produkte/palettenumlaufband/palettenumlaufband.jpg>

Friktionsrollenband

<http://www.kbh-maschinenbau.de/produkte/friktionsrollenband/friktionsrollenband.jpg>

Roboterbeladung

[https://www.maschinewerkzeug.de/\\_storage/asset/1848209/storage/chv-zoom/file/26697680/12921781.jpg](https://www.maschinewerkzeug.de/_storage/asset/1848209/storage/chv-zoom/file/26697680/12921781.jpg)

NSR 160

[http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user\\_upload/Download\\_PDFs/stat\\_spanntechnik\\_Seiten\\_156-165\\_RGB\\_300dpi.pdf](http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_156-165_RGB_300dpi.pdf)  
S.160

NSR Maxi 220

[http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user\\_upload/Download\\_PDFs/stat\\_spanntechnik\\_Seiten\\_156-165\\_RGB\\_300dpi.pdf](http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_156-165_RGB_300dpi.pdf)  
S.164

NSR mini 100

[http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user\\_upload/Download\\_PDFs/stat\\_spanntechnik\\_Seiten\\_156-165\\_RGB\\_300dpi.pdf](http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_156-165_RGB_300dpi.pdf)  
S.162  
14-SchunkNSAplus.jpg?itok=kzC-2q3c

NSE plus

[http://img.directindustry.de/images\\_di/photo-g/7038-4213159.jpg](http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/7038-4213159.jpg)

NSA plus

[https://www.ctemag.com/sites/www.ctemag.com/files/styles/product\\_image/public/product\\_images/01](https://www.ctemag.com/sites/www.ctemag.com/files/styles/product_image/public/product_images/01)

## **Tabelle 2: Vergleich der zur Auswahl stehenden Roboter ..... 36**

ABB 6620

<http://abbimageservice.cloudapp.net/public/images/f99975cc-0372-4ca5-a6d8-d68786639dfe/preview.jpg?target=http%3a%2f%2fabbccloud.blob.core.windows.net%2fpublic%2fimages%2ff99975cc-0372-4ca5-a6d8-d68786639dfe%2fpreview.jpg%3fcrop%3d0%2c0%2c400%2c368%26width%3d400%26height%3d368&key=540d2752b845dc4e10eb2fc3209e995e>

ABB 6640

<http://abbimageservice.cloudapp.net/public/images/5f5a7e29-777e-420b-8f2d-f376f329cbf3/preview.jpg?target=http%3a%2f%2fabbccloud.blob.core.windows.net%2fpublic%2fimages%2f5f5a7e29-777e-420b-8f2d-f376f329cbf3%2fpreview.jpg%3fcrop%3d0%2c0%2c400%2c344%26width%3d400%26height%3d344&key=fd23f08590ed4dacbbf79fdeaf8216d5>

Stäubli TX 200

<https://www.logismarket.pt/ip/staeubli-espanola-robot-industrial-robot-industrial-tx200-740509-FGR.jpg>

**Tabelle 3: Vergleich der Roboterkupplungen ..... 37**

NSR 160

[http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user\\_upload/Download\\_PDFs/stat\\_spanntechnik\\_Seiten\\_156-165\\_RGB\\_300dpi.pdf](http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_156-165_RGB_300dpi.pdf)  
S.160

NSR Maxi 220

[http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user\\_upload/Download\\_PDFs/stat\\_spanntechnik\\_Seiten\\_156-165\\_RGB\\_300dpi.pdf](http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_156-165_RGB_300dpi.pdf)  
S.164

NSR mini 100

[http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user\\_upload/Download\\_PDFs/stat\\_spanntechnik\\_Seiten\\_156-165\\_RGB\\_300dpi.pdf](http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_156-165_RGB_300dpi.pdf)  
S.162  
14-SchunkNSAplus.jpg?itok=kzC-2q3c

**Tabelle 4: Vergleich der Spannmittel ..... 39**

## 11 Abkürzungsverzeichnis

2D	zwei Dimensionen
3D	drei Dimensionen
ABB	Asea Brown Boveri
AC	Alternating Current
AR	Augmented Reality
BMW	Bayerische Motoren Werke
CAD	Computer-Aided Design
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
cm	Zentimeter
CNC	Computerized Numerical Control
fbx	Filmbox (Datenformat)
IGM	Industriegeräte und Maschinenfabriks-Gesellschaft
kg	Kilogramm
kN	Kilonewton
m	Meter
M2M	Machine-to-Machine
MES	Manufacturing Execution System
mm	Millimeter
Mx	Moment um die X-Achse
Nm	Newtonmeter
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
PDA	Personal Digital Assistent
px	Pixel
RAPID	Robot Application Interactive Dialogue
RFID	Radio Frequency Identification
SAP	Systemanalyse und Programmentwicklung SE
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
TU	technische Universität
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
VR	Virtual Reality