



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology



# Diplomarbeit

## Entwicklung einer Entscheidungsmethodik zur Fertigungsautomatisierung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom-Ingenieurs  
unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Friedrich Bleicher

E311 - Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

Patrick Radey

Matrikel Nr. 0425490

Schrammelgasse 3

A-2384 Breitenfurt

Breitenfurt, November 2011

# Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich sehr herzlich bei Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Friedrich Bleicher, der es mir ermöglicht hat meine Diplomarbeit am Institut für Fertigungstechnik zu absolvieren. Weiters bedanke ich mich bei Dipl. -Ing.(FH) Dominik Berger, der mich während der gesamten Diplomarbeit begleitet hat und mir stets mit fachlichen Informationen und wertvollen Anregungen behilflich war.

Ganz spezieller Dank gilt meinen Eltern, die mir das Studium an der Technischen Universität Wien ermöglicht haben.

# Kurzfassung

Oftmals wird eine hoch automatisierte Fertigung mit einer hoch produktiven Fertigung gleichgesetzt. Fertigungsautomatisierung kann zwar die Produktivität erhöhen, falsch eingesetzt kann sie allerdings auch das Gegenteil bewirken. Daraus ergibt sich die Forderung nach regelmäßiger Optimierung der Fertigung hinsichtlich Automatisierungsmaßnahmen. Die klassischen Verfahren der Investitionsrechnung setzen eine Vielzahl an Daten und Annahmen voraus. Ihre Durchführung verursacht einen dementsprechend erheblichen Aufwand. Obwohl die Fertigungstechnologie einen wesentlichen Einfluss auf die Sinnhaftigkeit von Automatisierungsmaßnahmen hat, spielt sie in der klassischen Investitionsrechnung keine Rolle.

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Entwicklung einer Entscheidungsmethodik, die es erlaubt, über Fertigungsautomatisierung zu entscheiden. Die Entscheidungsmethodik soll es ermöglichen, die gesamte Fertigung mit geringem Zeitaufwand zu überprüfen. Daraus ergibt sich die Anforderung an die Entscheidungsmethodik, eine schlanke Methode mit möglichst geringem Aufwand an Datenerhebung und klar vorgegebenen Entscheidungswegen zu entwerfen, die es erlaubt die gesamte Fertigung auf die Sinnhaftigkeit von Automatisierungsmaßnahmen zu überprüfen und dabei auch den Einfluss der eingesetzten Fertigungstechnologie berücksichtigt.

Nach Einführung in die Problematik und Erläuterung der theoretischen Grundlagen beschäftigt sich die Arbeit damit, die wesentlichsten Einflussfaktoren auf die Sinnhaftigkeit von Fertigungsautomatisierung zu identifizieren. Ausgehend davon wird eine Entscheidungsmethodik konzipiert, die den gestellten Anforderungen genügt. Um die Entscheidungsmethodik auf ihre Praxistauglichkeit zu überprüfen, wird die Methode im Rahmen der Arbeit auf zwei reale Beispiele aus dem Bereich Fertigung angewandt.

Die Arbeit beinhaltet auch eine Microsoft Excel Berechnungsmappe, die begleitend zur Entscheidungsmethodik deren Durchführung unterstützt.

# Abstract

Very often a high level of factory automatization is equaled with highly productive manufacturing. Certainly, factory automatization may increase productivity, but wrongly applied it may result in a reverse effect. Consequently, this entails the requirement of regular and periodic optimization of production with reference to innovative and economic automation measures. Conventional methods of investment calculation require a multitude of data and assumptions. Their implementation correspondingly causes significant efforts and costs. Although production technology indeed has a substantial influence on the usefulness of automation measures, it is irrelevant in conventional methods of investment calculation

The thesis deals with the development of a methodology of decision making which facilitates decision making in the field of factory automatization. This methodology of decision making should make it possible to quickly validate the whole manufacturing. This gives rise to the requirement for the methodology of decision making to devise a streamlined method with as little effort and expense of data collecting as possible and with clearly defined parameters, which makes it possible to check the entire manufacturing process with reference to usefulness of automation measures and thereby also take the impact of the production technology used into account.

After giving an introduction into the fundamental problem of the issue and an explanation of the theoretical foundations, the thesis deals with the identification of the most significant influencing factors for the usefulness of factory automatization. On this basis a methodology of decision making is designed to meet the relevant conditions. In order to examine the practicability of this methodology of decision making, it is accordingly applied to two real-world examples from the field of manufacturing.

The thesis includes a Microsoft Excel template which provides follow-up assistance for the implementation of the decision making process.

# Inhaltsverzeichnis

<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>I</b>
<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VII</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>X</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 PROBLEMSTELLUNG .....	3
1.2 ZIELSETZUNG.....	4
1.3 AUFBAU DER ARBEIT .....	4
<b>2 FERTIGUNG</b> .....	<b>5</b>
2.1 FERTIGUNGSTIEFE.....	6
2.2 HIGH-ADDING-VALUE - COMPETITIVE SUSTAINABLE MANUFACTURING ....	7
2.3 FERTIGUNGSKOSTEN .....	8
2.4 INVESTITIONSRECHNUNG.....	9
2.5 NOTWENDIGKEIT VON VARIANTENMANAGEMENT.....	11
2.6 MESSUNG DER PRODUKTIVITÄT .....	12
<b>3 FERTIGUNGSAUTOMATISIERUNG</b> .....	<b>15</b>
3.1 AUTOMATISIERUNGSGRAD.....	15
3.2 HANDHABUNGSMASCHINEN .....	16
3.2.1 Manipulatoren .....	17
3.2.2 Einlegegeräte .....	17
3.2.3 Industrieroboter .....	18
3.3 AUTOMATISIERTE FERTIGUNGSSYSTEME .....	20
3.3.1 CNC – Maschinen .....	21
3.3.2 Bearbeitungszentren .....	22
3.3.3 Flexible Fertigungszellen.....	23
3.3.4 Flexible Fertigungssysteme.....	24
3.3.5 Transferstraßen.....	25
3.3.6 Flexible Transferstraßen .....	26

3.3.7	<i>Verkettung und automatisierte Transportsysteme</i> .....	26
3.3.8	<i>Fertigungsleistung und Flexibilität</i> .....	28
3.4	AUTOMATISIERBARE FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN .....	29
3.5	ETHIK DES AUTOMATISIERENS .....	30
<b>4</b>	<b>ENTWICKLUNG DER ENTSCHEIDUNGSMETHODIK</b> .....	<b>32</b>
4.1	ZIEL DER ENTSCHEIDUNGSMETHODIK .....	32
4.2	ANFORDERUNGEN AN DIE METHODIK .....	32
4.3	EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE WIRTSCHAFTLICHKEIT DER FERTIGUNGSAUTOMATISIERUNG .....	33
4.4	KONZEPTION DER METHODIK .....	35
4.5	EINFLUSSFAKTOREN IN DER ENTSCHEIDUNGSMETHODIK .....	38
<b>5</b>	<b>ENTSCHEIDUNGSMETHODIK</b> .....	<b>39</b>
5.1	ÜBERSICHT .....	39
5.2	PHASE I: VORABÜBERLEGUNGEN .....	40
5.2.1	<i>Vorgehensweise</i> .....	43
5.2.2	<i>Durchführung und Entscheidungskompetenz in Phase I</i> .....	46
5.3	PHASE II: AUSWAHL DER ZU AUTOMATISIERENDEN PRODUKTION .....	46
5.3.1	<i>Vorgehensweise</i> .....	46
5.3.2	<i>Durchführung und Entscheidungskompetenz in Phase II</i> .....	50
5.4	PHASE III: ZWEI - KREISMODELL .....	50
5.4.1	<i>Fertigungskosten</i> .....	52
5.4.2	<i>Stückzahl</i> .....	54
5.4.3	<i>Automatisierungskompetenz</i> .....	56
5.4.4	<i>Vorgehensweise</i> .....	60
5.4.5	<i>Durchführung und Entscheidungskompetenz</i> .....	62
5.5	PHASE IV: VERGLEICH DER FERTIGUNGSKOSTEN .....	62
5.5.1	<i>Vorgehensweise</i> .....	63
5.5.2	<i>Durchführung und Entscheidungskompetenz</i> .....	65
5.5.3	<i>Beispiel 2: Mehrere Automatisierungslösungen eines Produktes</i> .....	66
5.6	PHASE V: INVESTITIONSRECHNUNG .....	67
5.6.1	<i>Vorgehensweise</i> .....	67
5.6.2	<i>Durchführung und Entscheidungskompetenz</i> .....	68
<b>6</b>	<b>ÜBERPRÜFUNG DER ENTSCHEIDUNGSMETHODIK</b> .....	<b>69</b>
6.1	PRODUKTION VON FRÄSTEILEN IM BEREICH SCHIENENFAHRZEUGBAU ...	69
6.1.1	<i>Phase I</i> .....	69
6.1.2	<i>Phase II</i> .....	71

6.1.3	<i>Phase III</i> .....	73
6.1.4	<i>Phase IV</i> .....	78
6.1.5	<i>Phase V</i> .....	83
6.1.6	<i>Zusammenfassung der Ergebnisse</i> .....	84
6.2	PRODUKTION VON BAUTEILEN FÜR EINEN HERSTELLER MEDIZINISCHER PROTHESEN.....	84
6.2.1	<i>Phase I</i> .....	84
6.2.2	<i>Phase II</i> .....	85
6.2.3	<i>Phase III</i> .....	86
6.2.4	<i>Phase IV</i> .....	89
6.2.5	<i>Phase V</i> .....	93
6.2.6	<i>Zusammenfassung der Ergebnisse</i> .....	94
<b>7</b>	<b>BEGLEITENDE EXCEL BERECHNUNGSMAPPE</b> .....	<b>95</b>
7.1	EXCEL BLATT: PHASE I .....	95
7.2	EXCEL BLATT: PHASE II .....	96
7.3	EXCEL BLATT: PHASE III – MEHRERE TECHNOLOGIEN.....	97
7.4	EXCEL BLATT: PHASE III .....	97
7.5	EXCEL BLATT: PHASE IV - AUTOMATISIERUNGSVARIANTEN .....	98
7.6	EXCEL BLATT: PHASE IV – SONDERBETRACHTUNG .....	99
7.7	EXCEL BLATT: PHASE IV .....	99
7.8	EXCEL BLATT: PHASE V .....	101
7.9	ZUSAMMENFASSUNG .....	101
<b>8</b>	<b>CONCLUSIO</b> .....FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.	
8.1	ZUSAMMENFASSUNG .....	102
8.2	AUSBLICK .....	103
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>105</b>
<b>A</b>	<b>PRODUKTION VON FRÄSTEILEN IM BEREICH SCHIENENFAHRZEUGBAU</b> .....	<b>108</b>
<b>B</b>	<b>PRODUKTION VON BAUTEILEN FÜR EINEN HERSTELLER MEDIZINISCHER PROTHESEN</b> .....	<b>115</b>
<b>C</b>	<b>BERECHNUNG DER SCHNITTFLÄCHE IM ZKM</b> .....	<b>118</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1 – Anteil des Verarbeitenden Gewerbes an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung [2].....	1
1.2 – Arbeitskostenvergleich europäischer Länder im Maschinenbau 2008 [2] .....	3
2.1 – Produktion als Wertschöpfungsprozess [6] .....	5
2.2 – Out- oder Insourcing von 1999 – 2001 [11] .....	7
2.3 – Schema der Zuschlagkalkulation [6] .....	9
2.4 – Verfahren der Investitionsrechnung [13].....	10
2.5 – Einfluss der Fertigungstiefe auf Produktivität [18] .....	14
3.1 – Zusammenhang zwischen Kosten und Automatisierungsgrad[19].....	16
3.2 – Skywash, Quelle: Putzmeister.....	17
3.3 – Einlegegerät, Quelle: Firma Weiss.....	18
3.4 – Weltweiter Absatz von Industrierobotern 2001 – 2012 [24].....	20
3.5 – Bezeichnung der Fertigungssysteme nach dem Automatisierungsgrad [25].....	21
3.6 – Komponenten und Eigenschaften eines Bearbeitungszentrums [25] ..	22
3.7 – Flexible Fräszelle mit Palettenregal [25] .....	23
3.8 – Flexibles Fertigungssystem [25].....	25
3.9 – Transferstraße [27].....	26
3.10 – Produktivität und Flexibilität verschiedener Fertigungssysteme [25] .	28
3.11 – Industrieroboterdichte nach Industriezweigen 2010 [31] .....	30
4.1 – Konzept des Phasenmodells.....	36
4.2 – Problemlösungstechnik der Entscheidungsmethodik .....	37
5.1 – Überblick über das Phasenmodell.....	39
5.2 – Phasenmodell der Entscheidungsmethodik .....	40
5.3 – Darstellung der Phase I.....	41
5.4 – Vorabüberlegungen; Bezeichnungen a-g bezugnehmend auf Kapitel 5.2.....	45
5.5 – Auswahl der zu automatisierenden Produktion .....	49
5.6 – Zwei-Kreismodell der Fertigungsautomatisierung .....	51
5.7 – Erhöhung der Stückzahl im Zwei-Kreismodell der Fertigungsautomatisierung .....	52
5.8 – Vorgehensweise in Phase III.....	61
5.9 – Darstellung der Phase IV .....	63
5.10 – Ablauf in Phase IV.....	65

5.11 – Phasenmodell für Beispiel 2.....	67
6.1 – Endreihung Phase II.....	73
6.2 – Abschätzung der minimalen Automatisierungskompetenz.....	76
6.3 – Abschätzung der maximalen Automatisierungskompetenz.....	77
6.4 – Endreihung Phase III.....	78
6.5 – Derzeitige Fertigungskosten des Produktes Dämpferkonsole.....	81
6.6 – Kalkulation der Fertigungskosten der automatisierten Fertigung des Produktes Dämpferkonsole .....	82
6.7 – Endreihung Phase IV .....	83
6.8 – Endreihung Phase II.....	86
6.9 – Derzeitige Fertigungskosten des Produktes DFT-16.....	92
6.10 – Kalkulation der Fertigungskosten für die automatisierte Fertigung des Produktes DFT-16.....	93
7.1 – Excel Blatt „Phase I“ .....	96
7.2 – Eingabe in Excel Blatt „Phase II“ .....	96
7.3 – Endreihung in Excel Blatt „Phase II“ .....	97
7.4 – Excel Blatt „Phase III – mehrere Technologien“ .....	97
7.5 – Eingabe in Excel Blatt „Phase III“ .....	98
7.6 – Endreihung in Excel Blatt „Phase III“ .....	98
7.7 – Excel Blatt „Phase IV – Automatisierungsvarianten“ .....	99
7.8 – Excel Blatt „Phase IV – Sonderbetrachtung“ .....	99
7.9 – Eingabe in Excel Blatt „Phase IV“ .....	100
7.10 – Endreihung in Excel Blatt „Phase IV“ .....	100
7.11 – Excel Blatt „Phase V“ .....	101

# Tabellenverzeichnis

2.1 – Variantenausprägungen von Straßenbahnen in Westeuropa [17].....	12
4.1 – Einflussfaktoren in der Entscheidungsmethodik.....	38
5.1 – Normzahlenreihe R8 .....	53
5.2 – Durchmesser des Fertigungskostenkreises .....	53
5.3 – Vergleich der durchschnittlichen Anschaffungskosten zwischen Werkzeug- und Handhabungsmaschine.....	54
5.4 – Durchmesser des Stückzahlkreises .....	55
5.5 – Bewertung des Automatisierungspotentials ausgewählter Fertigungstechnologien .....	60
5.6 – Vergleich der Fertigungskosten für Beispiel 2.....	66
6.1 – Erhebung der Produktdaten in Phase II .....	71
6.2 – Reihung nach Fertigungskosten * Stückzahl.....	71
6.3 – Produktdaten mit erhöhter Stückzahl in Phase II .....	72
6.4 – Neureihung nach Fertigungskosten * Stückzahl.....	72
6.5 – Durchmesser des Fertigungskostenkreises für einen Hersteller von Schienenfahrzeugen.....	74
6.6 – Durchmesser des Stückzahlkreises für einen Hersteller von Schienenfahrzeugen.....	74
6.7 – Fertigungskosten- und Stückzahl-Kreisdurchmesser .....	75
6.8 – Schnittflächen von automatisierten Lösungen in Phase III.....	78
6.9 – Rohteilgewicht der Bauteile.....	79
6.10 – Vergleich der Fertigungskosten.....	83
6.11 – Erhebung der Produktdaten in Phase II .....	86
6.12 – Reihung nach Fertigungskosten * Stückzahl.....	86
6.13 – Durchmesser des Fertigungskostenkreises für einen Hersteller medizinischer Prothesen .....	87
6.14 – Durchmesser des Stückzahlkreises für einen Hersteller von medizinischen Prothesen.....	88
6.15 – Fertigungskosten- und Stückzahl-Kreisdurchmesser .....	88
6.16 – Sinnhaftigkeit von automatisierten Lösungen in Phase III .....	89
6.18 – Vergleich der Fertigungskosten.....	91

# Abkürzungen

AGV	Automated Guided Vehicle
BAZ	Bearbeitungszentrum
CNC	Computerized Numerical Control
CSM	Competitive Sustainable Manufacturing
DIN	Deutsches Institut für Normung
EHB	Elektrohängebahnsystem
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
$F_A$	Faktor der Automatisierungseignung
$\overline{F_A}$	gewichteter Faktor der Automatisierungseignung
FFS	Flexibles Fertigungssystem
FFZ	Flexible Fertigungszelle
FK	Fertigungskosten
FMS	Flexible Manufacturing System
FTF	Fahrerloses Transportfahrzeug
FTS	Fahrerloses Transportsystem
HAV	High-Adding-Value
IFT	Institut für Fertigungstechnik
ISBN	International Standard Book Number
JARA	Japan Robot Association
NC	Numerical Control
ROI	Return On Investment
SAP	Systeme Anwendungen Produkte GbR
TFP	Total Factor Productivity
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDW	Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken

# 1 Einleitung

Abgesehen von den direkt im produzierenden Gewerbe beschäftigten Menschen, werden durch dieses auch viele Arbeitsplätze geschaffen, die eng mit dem produzierenden Gewerbe verbunden sind. Das sind beispielsweise Jobs in den Branchen Logistik, Informations- und Kommunikationstechnik. Nach Schätzungen der „McKinsey & Company“ schafft auf diese Weise jeder Industriearbeitsplatz zwei weitere Arbeitsplätze. Das produzierende Gewerbe ist essentiell für jede funktionierende und gedeihende Volkswirtschaft. Auch in Zukunft, und entgegen dem vielfach zitierten Wechsel zur Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft, wird dies so bleiben. Das beste Beispiel ist die deutsche Volkswirtschaft, die die internationale Krise im Jahr 2009 vergleichsweise gut überstanden hat. In Deutschland trägt das Verarbeitende Gewerbe einen überdurchschnittlich hohen Anteil zur gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung bei. [1]

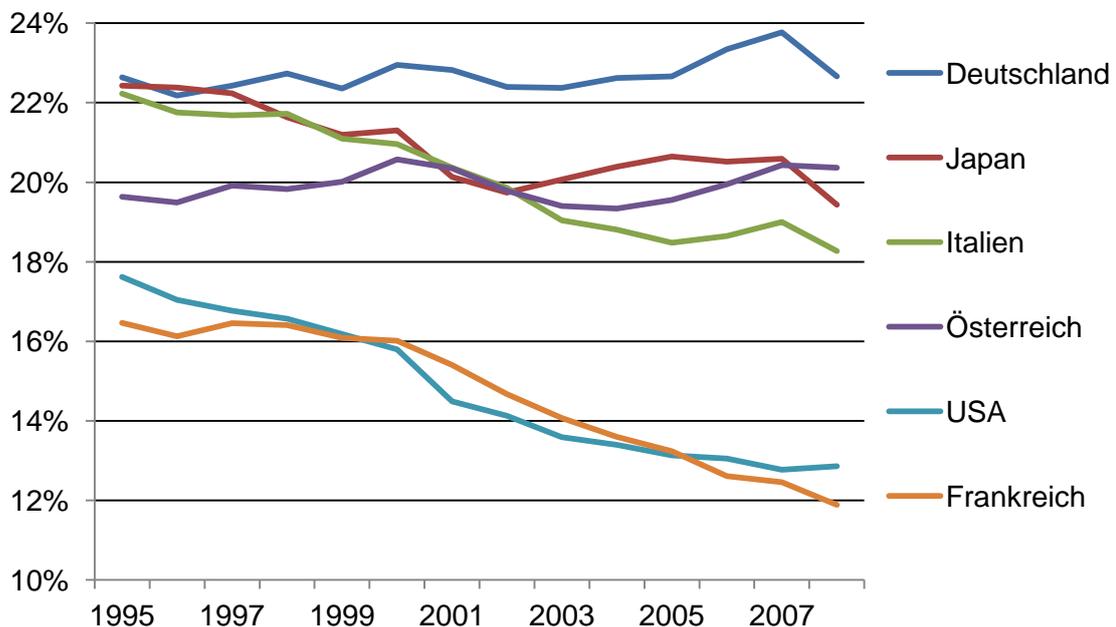


Abbildung 1.1 – Anteil des Verarbeitenden Gewerbes an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung [2]

Zusammenfassend lässt sich deutlich sagen: „Produktion schafft Arbeitsplätze und Wohlstand.“

## 1. Einleitung

---

In der Fertigung stellt sich oftmals die Frage, ob es sich aus wirtschaftlicher Sicht rentiert, den Automatisierungsgrad zu erhöhen. Das ist im Allgemeinen eine Frage, die nicht trivial zu beantworten ist, da eine Erhöhung des Automatisierungsgrades in der Fertigung keine ökonomische Verbesserung garantiert. Gerade bei kleinen Losgrößen im Bereich der Auftragsfertigung ist die Frage nach der Sinnhaftigkeit von Automatisierung schwierig zu beantworten. Aufgrund des steigenden Kostendrucks in allen Branchen ist die korrekte Beantwortung dieser Fragestellung aber essentiell.

Um die Wettbewerbsfähigkeit der Produktion in Europas Hochlohnländern zukünftig zu sichern, ist es notwendig, den Wertschöpfungsanteil im Produktionsprozess möglichst hoch zu halten. Diese Zielsetzung wird als „High added value manufacturing“ bezeichnet. Der Trend zum „Outsourcing“ der Produktion in Niedriglohnländer des asiatischen Raumes ist wieder rückläufig. Auch nicht zuletzt aufgrund des Know-How-Verlustes. Ein weiterer Grund ist die durch Outsourcing steigende Komplexität der Koordination. Beispielsweise hat Boeing große Teile der Produktion des 787 „Dreamliner“ an verschiedene Zulieferer ausgelagert. Die dadurch steigende Komplexität der Koordination und Kontrolle führten dazu, dass Boeing 2009 einen Teil der ausgelagerten Produktion zu Boeing zurückholte („Insourcing“). Dieser Versuch von Boeing, möglichst kostensparend zu produzieren und die Verantwortung an Zulieferbetriebe auszulagern, trug auch entscheidend zur insgesamt dreijährigen Verspätung des „Dreamliner“ bei. [1] Um jedoch in Hochlohnländern dem wachsenden Kostendruck auf die Fertigung standhalten zu können, spielt Fertigungsautomatisierung eine wesentliche Rolle.

Abbildung 1.2 zeigt einen Arbeitskostenvergleich europäischer Länder des Jahres 2008, der auf Basis einer Erhebung des Statistischen Amtes der Europäischen Union erstellt wurde. Dabei wurden in der Branche Maschinenbau, die Arbeitskosten für den Arbeitgeber je Stunde erhoben. Die Studie zeigt, dass sich die Arbeitskosten für den Arbeitgeber innerhalb Europas um bis zu einem Faktor von 15 unterscheiden. Dieser Kostenunterschied lässt erahnen, welche Bedeutung Fertigungsautomatisierung in Hochlohnländern zukommt.

## 1. Einleitung

---

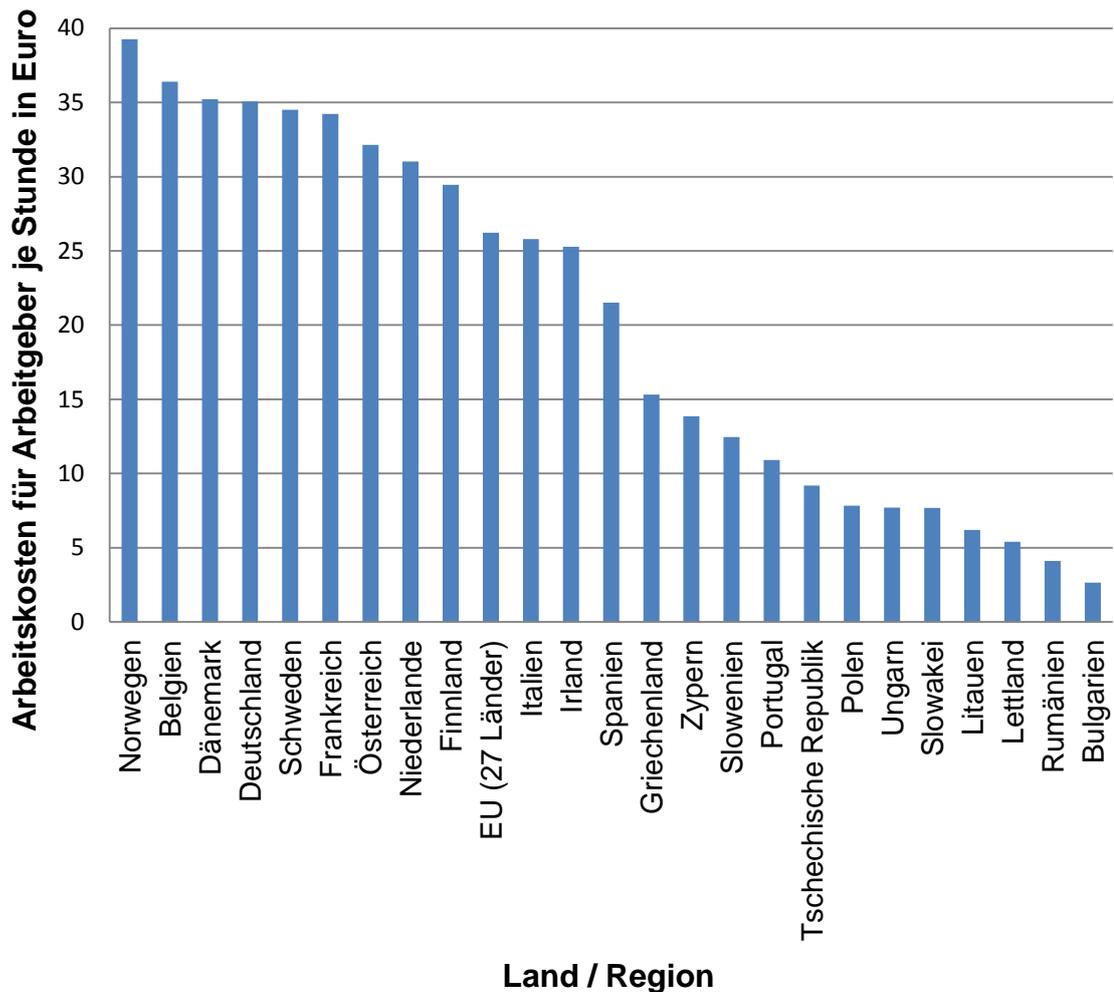


Abbildung 1.2 – Arbeitskostenvergleich europäischer Länder im Maschinenbau 2008 [2]

### 1.1 Problemstellung

Meist ist schon die Auswahl der Bauteile schwer, bei denen sich die Automatisierung der Fertigung lohnen könnte. Zu beantwortende Fragen hierzu sind, ob es sinnvoller ist, Bauteile die hohe Produktionskosten verursachen aber in geringer Stückzahl gefertigt werden, oder Bauteile die geringe Produktionskosten verursachen aber in hoher Stückzahl benötigt werden, zu betrachten, und ob die zur Verfügung stehenden Fertigungstechnologien generell für eine Automatisierung geeignet sind. Daraus ergibt sich eventuell die Fragestellung, welche anderen Fertigungstechnologien gewählt werden müssen und welche Anpassungen der Konstruktion dadurch notwendig werden. Wenn das zu betrachtende Teilespektrum gewählt ist, so stellt sich in weiterer Folge die Kernfrage, ob sich Fertigungsautomatisierung rentiert.

## 1. Einleitung

---

In diesen Problemstellungen erfordert eine Vielzahl an Einflussfaktoren einen hohen Aufwand an Datenerhebung und Kalkulation.

### 1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit wird in der Erarbeitung einer Entscheidungsmethodik bestehen, mit deren Hilfe die Frage, ob sich Automatisierung der Fertigung aus wirtschaftlicher und technologischer Sicht lohnt, beantwortet werden kann. Der Vorteil dieser Methodik soll in der schlankeren Kalkulation liegen, durch die Tatsache, dass nicht alle Einflussfaktoren von Anfang an erfasst und in der Rechnung berücksichtigt werden müssen. Das impliziert auch, dass zunächst weniger Daten erhoben und gesammelt werden müssen. Desweiteren wird die Entscheidungsmethodik auch eine sinnvolle Vorgehensweise bei der Auswahl von Bauteilen, deren Fertigung automatisiert werden kann, beinhalten.

Durch die in dieser Arbeit entwickelte Entscheidungsmethodik, soll es produzierenden Unternehmen ermöglicht werden, den Bereich Fertigung in regelmäßigen Abständen hinsichtlich Fertigungsautomatisierung zu optimieren.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Zum besseren Verständnis der Arbeit werden die benötigten theoretischen Grundlagen erläutert. Danach wird darauf eingegangen, welche Kriterien für die Entscheidung über die Automatisierung wesentlich sind und wie die Entscheidungsmethodik aussehen könnte. Daraus abgeleitet wird die entwickelte Entscheidungsmethodik detailliert ausgeführt. Anschließend wird der Einsatz der Entscheidungsmethodik in der Praxis gezeigt. Dazu werden real gefertigte Produkte der Entscheidungsmethodik unterzogen.



## 2. Fertigung

---

*Arbeitsvorgang heißt Ausgangszustand, der Zustand danach Endzustand.“*  
[8]

### 2.1 Fertigungstiefe

Unter Fertigungstiefe versteht man das Verhältnis von Eigenfertigung zu der Summe aus Eigen- und Fremdfertigung. Als Bezug können bspw. Sachnummern, Stückzahl sowie Gesamtkosten dienen. [9]

Die Fertigungstiefe charakterisiert somit den Fertigungseigenanteil und kann in Prozent angegeben werden:

$$\text{Fertigungstiefe in \%} = \frac{\text{Anzahl der Eigenfertigungsteile}}{\text{Anzahl aller Teile}} \times 100 \quad (2.1)$$

Wird die Fertigungstiefe eines Unternehmens aufgrund strategischer Überlegungen durch einen höheren Anteil an fremdgefertigten Teilen reduziert, so spricht man von „Outsourcing“. Bei einer Erhöhung der Fertigungstiefe spricht man von „Insourcing“.

Vor allem im Bereich der Massenfertigung war der Trend hin zum „Outsourcing“ bis vor wenigen Jahren ungebremsst. Wie die deutsche Strategieberatung Roland Berger feststellt, sind vom „Outsourcing“ kaum Kernkompetenzen betroffen, sondern schon eingeschwungene Technologien zur Massenproduktion. So fertigt etwa Bosch seine Einspritzpumpen der alten Generation in China, während die neuer Generation in Deutschland gefertigt werden. Eine ähnliche Strategie verfolgt Mercedes, wo Technologieträger wie die S - Klasse nicht in Asien gefertigt werden. [10] In Deutschland haben zwischen den Jahren 1999 und 2001 41 % der Unternehmen Outsourcing im Bereich der Fertigung betrieben. Abbildung 2.2 zeigt die Anteile der Betriebe im verarbeitenden Gewerbe, die zwischen 1999 und 2001 Out- oder Insourcing betrieben haben. [11]

## 2. Fertigung

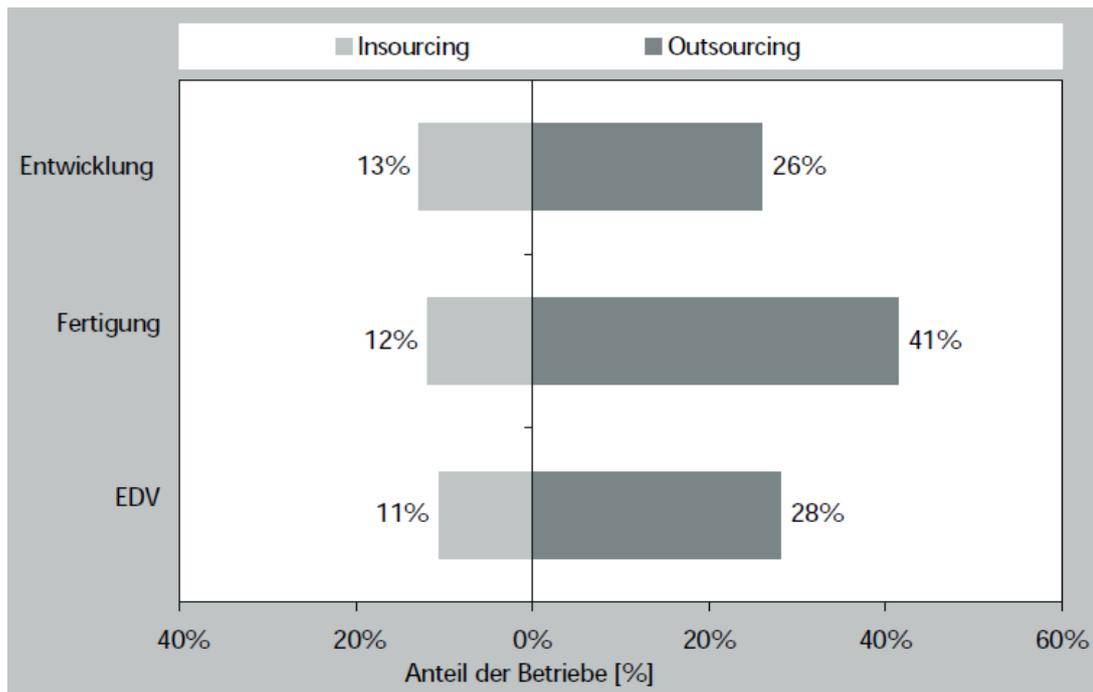


Abbildung 2.2 – Out- oder Insourcing von 1999 – 2001 [11]

### 2.2 High-Adding-Value - Competitive Sustainable Manufacturing

Im Jahre 2003 wurde die Initiative Manufuture auf europäischer Ebene gegründet. Diese Initiative besteht aus Unternehmen, Verbänden sowie Forschungseinrichtungen und Universitäten in Europa. 2004 wurden im Dokument „Vision 2020“ die wesentlichen Ansatzpunkte zum strukturellen Wandel der europäischen produzierenden Industrie identifiziert. Aufbauend auf „Vision 2020“ wurde die „Strategic Research Agenda SRA“ veröffentlicht, die den Rahmen der europäischen Forschungspolitik im Bereich Produktion beschreibt. Die strategischen Ziele von Manufuture sind:

- Wettbewerbsfähigkeit der europäischen produzierenden Industrie
- Führerschaft im Bereich Fertigungstechnologien
- Umweltfreundliche Produkte und Fertigung
- Europäische Führerschaft im Bereich kultureller, ethischer und sozialer Werte

Manufuture setzt sich dabei als Aufgabe die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Produktion durch High-Adding-Value (HAV) Competitive Sustainable Manufacturing (CSM) zu erhalten. Darunter versteht man die wettbewerbsfähige nachhaltige Produktion mit höchstem

## 2. Fertigung

---

Wertschöpfungsanteil. [12] Um wertschöpfende Produktion in Europa halten zu können ist einerseits die ständige Weiterentwicklung von Fertigungstechnologien unerlässlich. Andererseits wird durch das hohe Arbeitskostenniveau Europas ein gewisser Grad an Fertigungsautomatisierung eine entscheidende Rolle spielen.

### 2.3 Fertigungskosten

Um in einem Unternehmen, das unterschiedliche Produkte mit unterschiedlicher Stückzahl fertigt, die Kosten verursachungsgerecht aufteilen zu können, wird die Zuschlagkalkulation verwendet. Abbildung 2.3 zeigt das Schema der differenzierten Zuschlagkalkulation. Demnach versteht man unter den Fertigungskosten die Summe aus Fertigungslöhnen und Fertigungsgemeinkosten. [6] Wie zu sehen ist, beinhalten die Fertigungskosten somit keine Materialkosten. Beurteilt man die Sinnhaftigkeit einer Automatisierungsmaßnahme im Bereich der Fertigung nach einem Vergleich der Fertigungskosten mit bzw. ohne Automatisierung, spielen die Materialkosten somit keine Rolle. Das erscheint sinnvoll, da sich die Materialkosten durch Automatisierung im Normalfall nicht oder nur unwesentlich ändern.

## 2. Fertigung

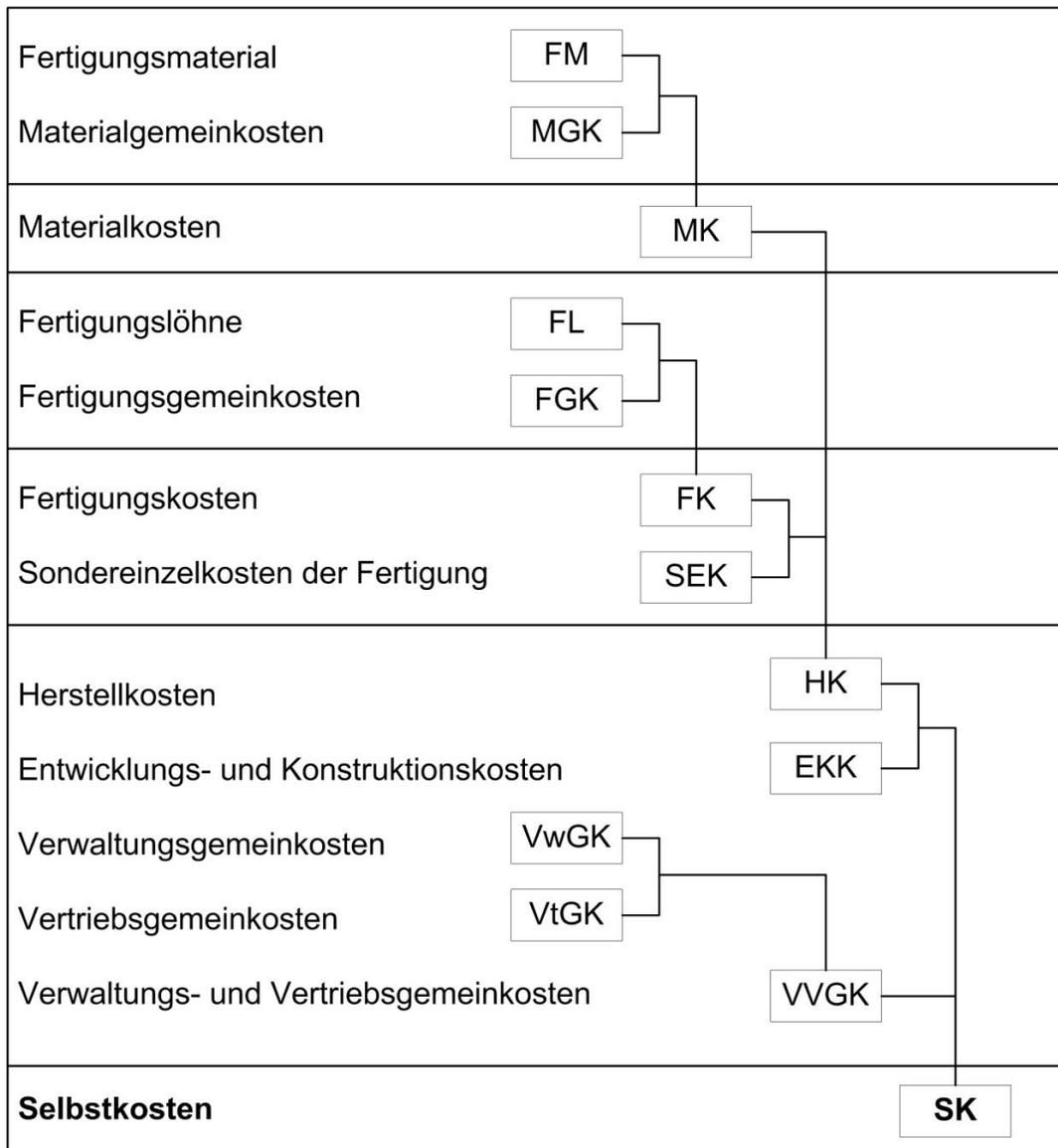


Abbildung 2.3 – Schema der Zuschlagkalkulation [6]

### 2.4 Investitionsrechnung

Die Verfahren der Investitionsrechnung gliedern sich in dynamische und statische Methoden. Die dynamischen Verfahren sind zwar aufwändiger, jedoch auch genauer als die statischen Verfahren. Einen Überblick gibt Abbildung 2.4. [13]

Verfahren der Investitionsrechnung	
Dynamisch	Statisch
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kapitalwertmethode</li><li>• Annuitätenmethode</li><li>• Dynamische Amortisationszeit</li><li>• Interne Zinsfußmethode</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kostenvergleichsrechnung</li><li>• Gewinnvergleichsrechnung</li><li>• Rentabilitätsvergleichsrechnung</li><li>• Statische Amortisationszeit</li></ul>

Abbildung 2.4 – Verfahren der Investitionsrechnung [13]

Während bei den dynamischen Methoden Einzahlungen und Auszahlungen als Rechenebene verwendet werden, dienen dazu Aufwände/ Kosten und Erträge bei den statischen Methoden. Die zeitliche Komponente der Zahlungen wird in den dynamischen Methoden exakt abgebildet. Im Gegensatz dazu findet die zeitliche Komponente in den statischen Methoden keine Berücksichtigung. Betrachtet wird eine repräsentative Durchschnittsperiode. Dies bedeutet, dass der Faktor Zinsen in den statischen Methoden keine Rolle spielt. Für eine genaue Betrachtung muss jedoch Geld, das erst zu einem späteren Zeitpunkt eingeht auf den Gegenwartszeitpunkt abgezinst werden. Genau das geschieht in den dynamischen Methoden. [13]

Als wichtigste dynamische Methode der Investitionsrechnung gilt die Kapitalwertmethode. Die anderen in Abbildung 2.4 angegebenen Methoden leiten sich aus ihr ab. Einen guten Einblick und Unterstützung bei der Durchführung geben die Bücher „Investitionsrechnung kompakt“ von P. Carstensen [13] und „Investitionsrechnung“ von H. Zingel [14].

Als ein Maß für die Rentabilität einer Investition dient der Return on Investment ROI. Der ROI lässt sich wie folgt berechnen: [13]

$$ROI = \frac{\text{Gewinn}}{\text{Kapital}} * 100 \% \quad (2.2)$$

### 2.5 Notwendigkeit von Variantenmanagement

DIN 199 versteht unter einer Variante „Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile“. [15] Unter einer Variante lässt sich eine bestimmte Ausführung eines Produktes verstehen. Varianten dienen dem Zweck möglichst viele identische Baugruppen zu ermöglichen, um die Stückzahl der benötigten Teile zu erhöhen.

Stark erhöht hat sich die Variantenvielfalt in der Automobilindustrie. Ausgehend vom praktisch variantenlosen Ford „Modell T“ 1913 besitzt der „VW Golf“ der Firma Volkswagen AG theoretisch 70 Billionen Variationen[14]. Dies kann man sich verdeutlichen, wenn man an die vielen zu beeinflussenden Merkmale wie Außenfarbe, Motorvariante, Stoff der Sitze, Klimaanlage, etc. denkt. Rechnerisch ergibt sich die Summe der Varianten eines Produktes zu:

$$\text{Summe der Varianten} = \prod_{i=1}^j n_j \quad (2.3)$$

mit  $n$  Anzahl der Variantenvielfalt

$j$  Summe der Variationsparameter

Auch im Bereich von Straßenbahnen gibt es eine beachtliche Anzahl unterschiedlicher Varianten. Die wesentlichsten Variationsparameter auf die Wagenkastengeometrie sind Spurweite, Fahrzeugbreite und Fußbodenhöhe. [15] Diese Parameter besitzen jeweils verschiedene Ausprägungen, wie in Tabelle 2.1 dargestellt.

## 2. Fertigung

---

Variationsparameter	Varianten- vielfalt	Ausprägungen der Varianten <i>Abmessungen in mm</i>
Spurweite	7	900, 950, 1000, 1100, 1435, 1445, 1456
Fahrzeugbreite	13	2100, 2200, 2300, 2340, 2350, 2400, 2450, 2480, 2500, 2600, 2650, 2654, 2680
Fußbodenhöhe „Niederflur“	15	205, 280, 300, 310, 345, 350, 352, 353, 355, 360, 370, 400, 407, 440, 480
Fußbodenhöhe „Hochflur“	22	525, 530, 560, 580, 587, 600, 605, 610, 650, 700, 710, 720, 780, 835, 850, 870, 873, 875, 880, 900, 910, 925

*Tabelle 2.1 – Variantenausprägungen von Straßenbahnen in Westeuropa  
[17]*

Beachtet man, dass sich „Niederflur“ und „Hochflur“ gegenseitig ausschließen und setzt in die Formel für die Summe der Varianten ein, so erhält man mehr als 3.300 Varianten. Diese Vielfalt bezieht sich allein auf die Wagenkastengeometrie. Unterschiedliche Varianten der Innenausstattung sind hier noch gar nicht berücksichtigt.

### 2.6 Messung der Produktivität

Um verschiedene Produktionen miteinander vergleichen zu können ist es notwendig, ein vergleichbares Kriterium zu erfassen. Hier bietet sich die Produktivität der Fertigung an. Prinzipiell lässt sich betriebliche Produktivität als das Verhältnis von betrieblichem Output zu betrieblichem Input darstellen. Um dieses Verhältnis anzugeben, gibt es verschiedene Messkonzepte. [18]

Ein Produktivitätsmaß ist der *Umsatz pro Beschäftigtem*. Das Ergebnis erscheint zwar in „Euro je Mitarbeiter“ gut greifbar, jedoch werden unterschiedliche Fertigungstiefen nicht berücksichtigt. Ein Betrieb, der Fertigungsleistungen zukauf und somit weniger Beschäftigte benötigt, wird in dieser Rechnung - ungerechtfertigt - eine höhere Produktivität aufweisen als Betriebe mit höherer Fertigungstiefe.

Einen anderen Ansatz bietet die *Wertschöpfung pro Beschäftigtem*. Der Fehler der nicht berücksichtigten Fertigungstiefe wird hier korrigiert, indem

## 2. Fertigung

---

vom Umsatz die Summe der bezogenen Leistungen abgezogen wird. Die Wertschöpfung errechnet sich zu:

$$\text{Wertschöpfung} = \text{Umsatz} - \sum \text{bezogene Leistungen} \quad (2.4)$$

Die *Wertschöpfung im Verhältnis zur Lohn- und Gehaltssumme* ergibt sich aus dem Verhältnis der im Betrieb erzeugten Wertschöpfung zu den Personalkosten. Die Personalkosten stellen hier den Aufwand, der zur erreichten Wertschöpfung notwendig ist, dar.

In allen bisherigen Messkonzepten wird allerdings die Anlagenproduktivität vernachlässigt. So erreichen hochautomatisierte Betriebe eine höhere Produktivität als niedrig automatisierte. Die Kosten für Automatisierungsinvestitionen bleiben jedoch unberücksichtigt und somit muss eine höhere Produktivitätskennzahl nicht bedeuten, dass dieser Betrieb auch wirklich produktiver ist. Um diese Tatsache zu berücksichtigen, muss zusätzlich die Anlagenproduktivität berücksichtigt werden. Ein Messkonzept, das dies erfüllt, ist die *Total Factory Productivity (TFP)*. Zum Unterschied zu *Wertschöpfung im Verhältnis zur Lohn- und Gehaltssumme* werden zu den Personalkosten die Aufwendungen für Abschreibungen der Anlagen addiert.

Somit ergibt sich die TFP zu:

$$TFP = \frac{\text{betriebliche Wertschöpfung}}{\text{Personalkosten} + \text{Anlagenabschreibung}} \quad (2.5)$$

Da die Kennzahl TFP auch die Investitionskosten für automatisierte Anlagen berücksichtigt, wird einem Betrieb mit einem höheren Grad an Automatisierung, nicht ungerechtfertigt eine höhere Produktivität zugewiesen. Sind die Investitionskosten in Relation zur dadurch erreichten Wertschöpfung zu hoch, so sinkt die TFP. Somit scheint die Kennzahl TFP am Geeigneten, um die Produktivität der Fertigung zu bewerten.

Wie aus der Erhebung „Zur Modernisierung der Produktion“ des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung von 2009 hervorgeht, sind Betriebe mit hoher Fertigungstiefe hinsichtlich Produktivität denen mit

## 2. Fertigung

geringerer Fertigungstiefe überlegen. Als Maß für die Produktivität dient in dieser Studie die Kennziffer „Total Factor Productivity (TFP)“. TFP ist eine Kennzahl für die ganzheitliche Produktivität einer Fertigung und wird in Abschnitt 2.6 näher erläutert. Den Einfluss der Fertigungstiefe auf die Produktivität des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland zeigt Abbildung 2.5. [18]

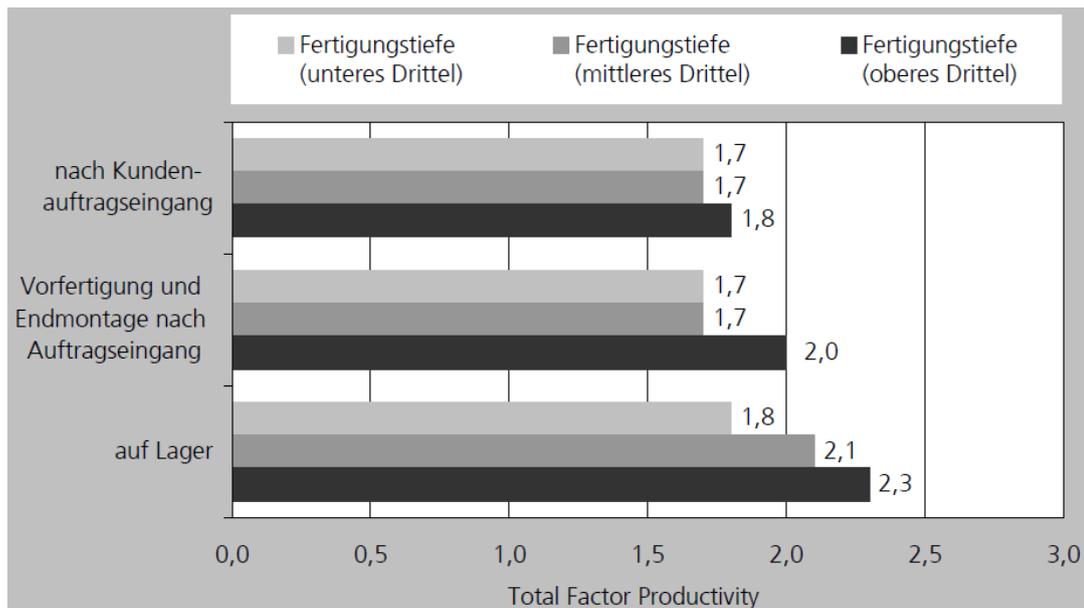


Abbildung 2.5 – Einfluss der Fertigungstiefe auf Produktivität [18]

Das lässt erkennen, wie wichtig es ist, im Begriff Produktivität auch die Kosten für Fertigungsanlagen mit einzubeziehen. Oftmals wird ein hoher Automatisierungsgrad der Fertigung mit einer hoch produktiven Fertigung gleichgesetzt. Fertigungsautomatisierung kann zwar die Produktivität erhöhen, falsch eingesetzt, kann sie allerdings auch das Gegenteil bewirken. Daraus ergibt sich die Forderung nach regelmäßiger Optimierung der Fertigung hinsichtlich Automatisierungsmaßnahmen. Diese Arbeit soll dabei eine entscheidende Hilfestellung bieten.

# 3 Fertigungsautomatisierung

Der Begriff des Automaten stammt aus dem griechischen Wort „automatos“, was im Deutschen „sich selbst bewegend“ bedeutet.

DIN 19233 definiert den Begriff eines Automaten wie folgt:

*„Ein selbsttätig arbeitendes künstliches System, dessen Verhalten entweder schrittweise durch vorgegebene Entscheidungsregeln oder zeitkontinuierlich nach festgelegten Beziehungen bestimmt wird und dessen Ausgangsgrößen aus seinen Eingangs- und Zustandsgrößen gebildet werden.“ [19]*

Unter dem Begriff Automatisierung versteht DIN 19233 folgendes:

*„Das Ausrüsten einer Einrichtung, so dass sie ganz oder teilweise ohne Mitwirkung des Menschen bestimmungsgemäß arbeitet.“ [19]*

Ein Teilgebiet der Automatisierung ist die Fertigungsautomatisierung. Ihre Zielsysteme sind Produktionsanlagen, inklusive der für die logistischen Funktionen notwendigen Einrichtungen. Zu diesen logistischen Funktionen zählen Material- und Produkttransporte.

## 3.1 Automatisierungsgrad

Der Begriff des Automatisierungsgrades wird laut DIN 19233 als der „Anteil der automatisierten Funktionen an der Gesamtfunktion einer Anlage“ [19] definiert.

Allgemein gilt:

$$\text{Automatisierungsgrad in \%} = \frac{\sum A_{aut}}{\sum A_{ges}} \times 100 \quad (2.4)$$

mit  $\sum A_{aut}$       *Summe der automatisierten Arbeitsschritte*

$\sum A_{ges}$       *Summe aller Arbeitsschritte*

### 3. Fertigungsautomatisierung

Je höher der Automatisierungsgrad einer Anlage ist, desto höher sind in der Regel auch die Anschaffungskosten. Den steigenden Investitionskosten stehen jedoch sinkende Personalkosten bei höherem Automatisierungsgrad gegenüber. Desweiteren ergeben sich Kostenvorteile durch Qualitätsverbesserungen, sodass die laufenden Kosten in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad qualitativ wie in Abbildung 3.1 aussehen. Der qualitativ erkennbare Verlauf der Investitionskosten in Abhängigkeit des Automatisierungsgrades verdeutlicht die Wichtigkeit der Wahl des optimalen Automatisierungsgrades für die jeweilige Fertigung. So ist es nicht zielführend, alles was technisch möglich ist, zu automatisieren, sondern nur was wirtschaftlich sinnvoll ist. [20] Der Automatisierungsgrad ist im Allgemeinen so zu wählen, dass sich im Zusammenspiel zwischen Investitionskosten und laufenden Kosten ein Minimum ergibt, dies ist der optimale Automatisierungsgrad.

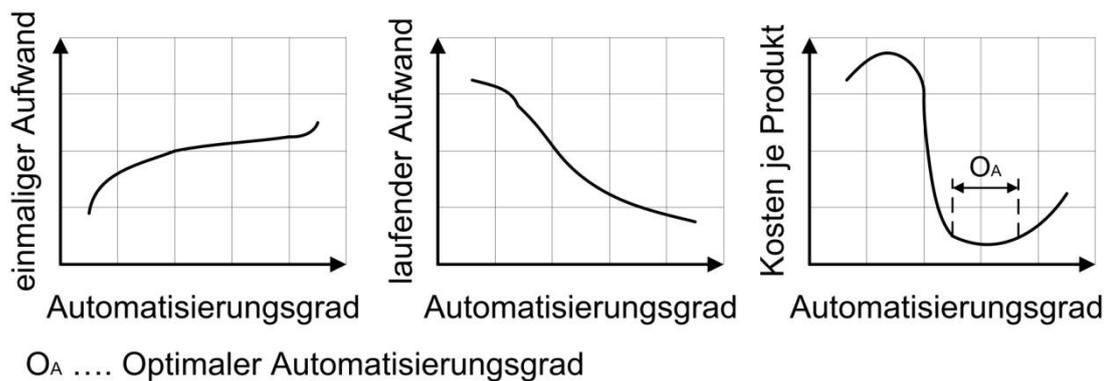


Abbildung 3.1 – Zusammenhang zwischen Kosten und Automatisierungsgrad[19]

### 3.2 Handhabungsmaschinen

Betrachtet man Steuerung, Programmierung und Anwendungsmöglichkeiten von Handhabungsmaschinen so unterscheidet man:

- Manipulatoren
- Einlegegeräte
- Industrieroboter

### 3. Fertigungsautomatisierung

---

#### 3.2.1 Manipulatoren

Manipulatoren sind manuell gesteuerte Bewegungsgeräte, die hauptsächlich für Handhabungsaufgaben eingesetzt werden. Ferngesteuerte Manipulatoren nennt man Teleoperatoren. Die Verwendung von Teleoperatoren erfolgt an schwer zugänglichen Stellen und bei inhumanen Umgebungseinflüssen wie Staub- oder Strahlenbelastung. [20] Beispiel für einen Manipulator ist der „Skywash“ der Firma Putzmeister, der in Abbildung 3.2 gezeigt wird.



Abbildung 3.2 – Skywash, Quelle: Putzmeister

#### 3.2.2 Einlegegeräte

Einlegegeräte sind Bewegungsautomaten, deren Bewegung nach einem fest vorgegebenen Programm abläuft. [22]

Die Anwendung erfolgt bei gleichbleibenden Bewegungsabläufen, wie z.B. dem Beschicken von Pressen. Die Bewegungssequenz sieht wie folgt aus [21]:

- Greifen eines Teiles
- Bewegen des Teils zur Zielposition
- Greifer öffnen und Ablegen des Teils
- Zurückfahren in Ausgangsposition

Die Genauigkeit liegt im Zehntel – Millimeterbereich und ist in der Regel für Beschickungs-, Entnahme- und Montagevorgänge ausreichend. Einlegegeräte erreichen hohe Verfahrensgeschwindigkeiten.

### 3. Fertigungsautomatisierung

---

Anschläge oder Schalnocken in Verbindung mit Schaltern und Ventilen geben die Weginformationen vor. Bei einer Änderung des Bewegungsablaufes sind diese Schalnocken und Anschläge in ihrer mechanischen Lage zu verstellen. Daher ist bei einer Veränderung der Arbeitsaufgabe eine Umrüstung des Einlegegerätes notwendig. Die Anwendung erfolgt vor allem in der Serien- und Massenfertigung. In Abbildung 3.3 ist ein Einlegegerät der Firma Weiss dargestellt.

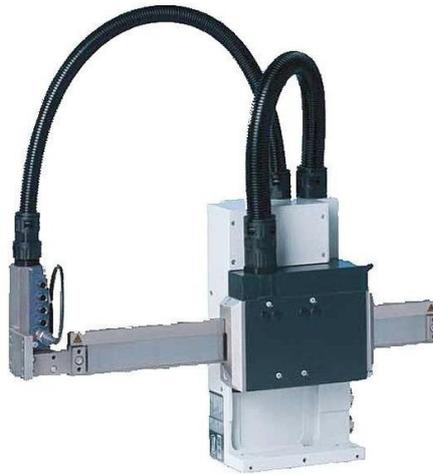


Abbildung 3.3 – Einlegegerät, Quelle: Firma Weiss

#### 3.2.3 Industrieroboter

Bedingt durch die Entwicklung von Industrierobotern aus Handhabungsgeräten unterscheidet sich deren Definition von Land zu Land. Die wichtigsten Definitionen sind die des Vereins Deutscher Ingenieure VDI, der Japan Robot Association JARA und des Robot Institute of America RIA. Die Japan Robot Association JARA teilt den Begriff Industrieroboter in sechs Unterklassen auf, die jeweils ihre eigene Definition besitzen. Hier ist die Definition nach VDI 2860 angeführt:

*„Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei (d.h. ohne mechanischen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen.“ [22]*

### 3. Fertigungsautomatisierung

---

Die RIA definiert den Begriff des Industrieroboters wie folgt:

*„Ein Industrieroboter ist ein programmierbarer Mehrzweck-Manipulator für das Bewegen von Material, Werkstücken, Werkzeugen oder Spezialgeräten. Durch den frei programmierbaren Bewegungsablauf ist er für verschiedenste Aufgaben einsetzbar.“ [23]*

Die wesentlichsten Kenngrößen zur Auswahl von Industrierobotern sind:

- Tragfähigkeit
- Achszahl
- Arbeitsraum
- Verfahrgeschwindigkeit
- Wiederholgenauigkeit

Die International Federation of Robotics IFR meldet für 2010 einen weltweiten Absatz von 115.000 Industrierobotern. Die Statistik der IFR, ersichtlich in Abbildung 3.4, bezieht sich dabei auf die Definition eines Industrieroboters nach ISO 8373, welche der bereits angeführten Definition nach VDI 2860 ähnlich ist. Das bedeutet fast eine Verdoppelung zum absatzschwachen Jahr 2009. Für 2011 sagen Experten des IFR eine weitere Steigerung von 10% - 15% voraus, gefolgt von einem moderaten Wachstum von 5% in den Jahren 2012 bis 2014. [24]

### 3. Fertigungsautomatisierung

---

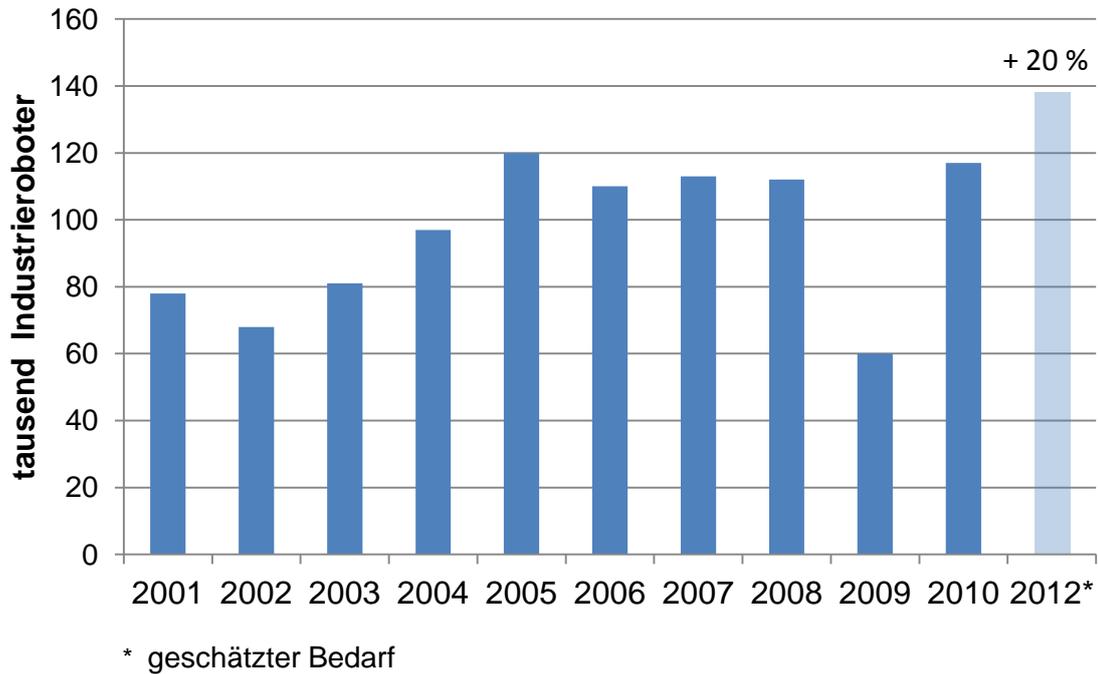


Abbildung 3.4 – Weltweiter Absatz von Industrierobotern 2001 – 2012 [24]

#### 3.3 Automatisierte Fertigungssysteme

Werden Maschinen mit mechanischen und elektronischen Komponenten zur Automatisierung des Fertigungsablaufes verknüpft, so spricht man von einem Fertigungssystem. Im Folgenden werden Fertigungssysteme mit unterschiedlich ausgeprägter Automatisierung erläutert. Einen Überblick über automatisierte Fertigungssysteme gibt Abbildung 3.5.

### 3. Fertigungsautomatisierung

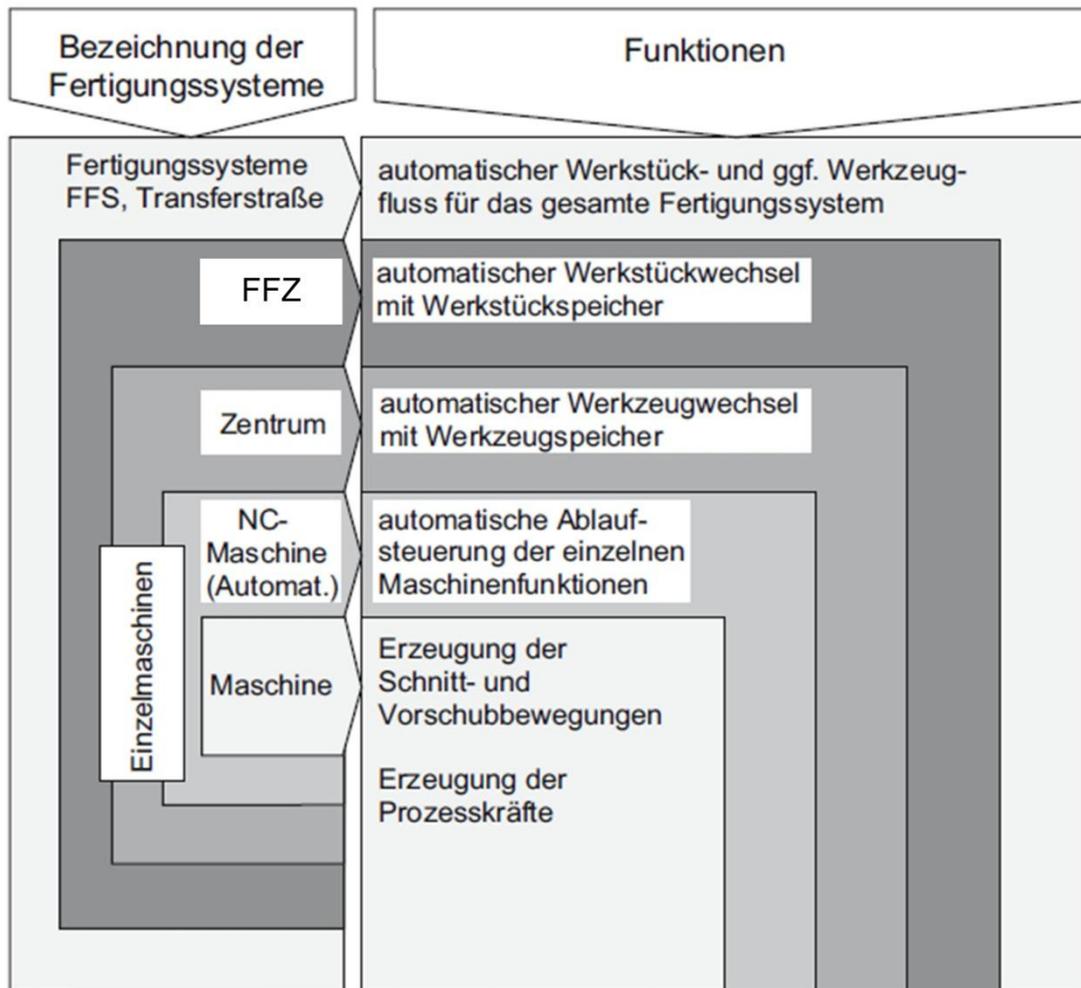


Abbildung 3.5 – Bezeichnung der Fertigungssysteme nach dem Automatisierungsgrad [25]

#### 3.3.1 CNC – Maschinen

Die CNC Steuerung ist eine Weiterentwicklung der NC Steuerung und steht für Computerized Numerical Control. Da seit Beginn der achtziger Jahre nur noch Steuerungen auf Mikrorechnerbasis angeboten werden, ist eine Unterscheidung zwischen NC und CNC nicht mehr erforderlich. [25] Die numerische Steuerung wird durch einen Computer ergänzt, der die Speicherung der Programme und Berechnungen zu deren Ausführung durchführt.

CNC – Maschinen sind Werkzeugmaschinen mit mehrachsiger Steuerung. Um eine Komplettbearbeitung zu ermöglichen können die drei linearen Achsen durch eine oder zwei rotatorische ergänzt werden. CNC – Maschinen

### 3. Fertigungsautomatisierung

eignen sich für unterschiedliche Bearbeitungsverfahren, wie Bohren, Fräsen, Drehen sowie auch für Schneiden und Biegen.

#### 3.3.2 Bearbeitungszentren

Unter einem Bearbeitungszentrum (BAZ) versteht man eine CNC – Maschine mit höherem Automatisierungsgrad. Es verfügt über eine automatische Werkzeugwechseleinrichtung mit Werkzeugmagazin. Der Werkstückwechsel erfolgt manuell. Desweiteren können Bearbeitungszentren über eine integrierte Messstation zur Qualitätskontrolle und Sensoren zur Überwachung von Maschinenfunktionen und Prozesszuständen verfügen. Abbildung 3.6 gibt eine Übersicht über die Komponenten eines Bearbeitungszentrums.

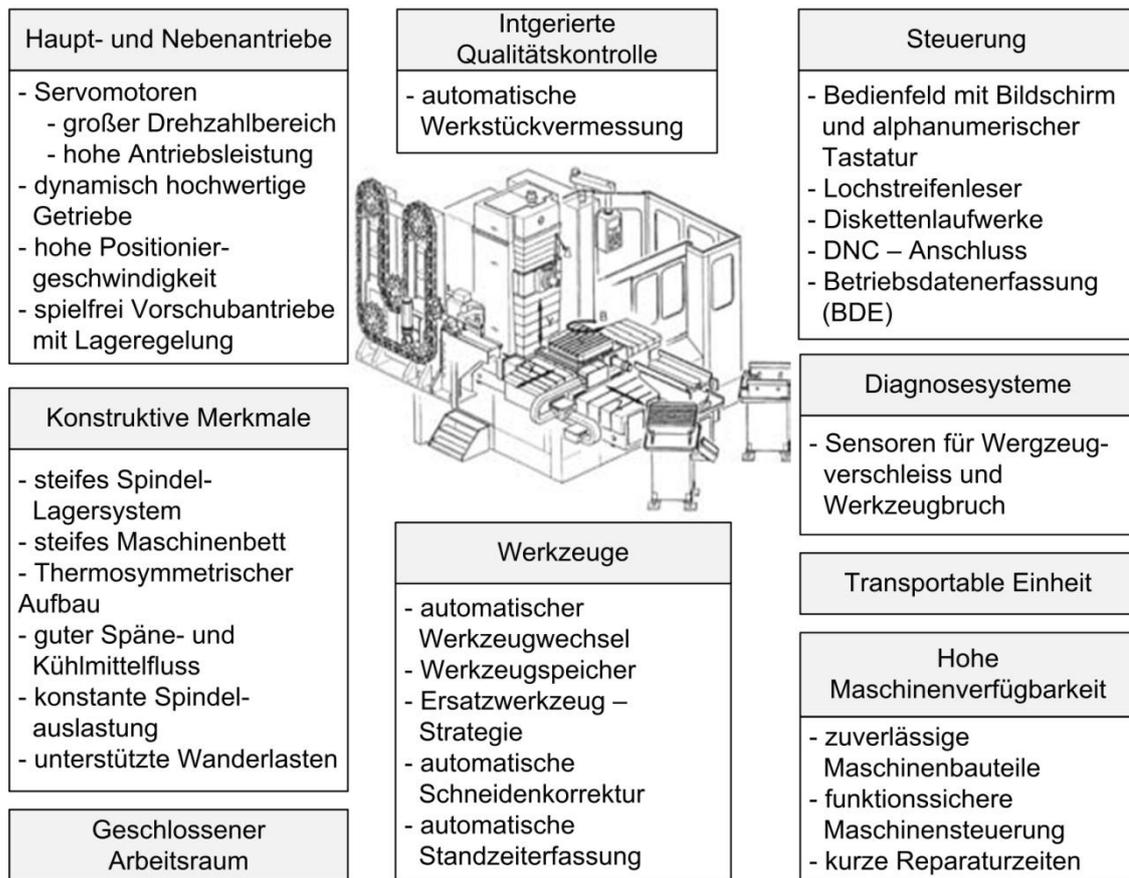


Abbildung 3.6 – Komponenten und Eigenschaften eines Bearbeitungszentrums [25]

### 3. Fertigungsautomatisierung

#### 3.3.3 Flexible Fertigungszellen

Wird ein Bearbeitungszentrum über ein automatisches Werkstückwechselsystem an einen Werkstückspeicher angebunden, so spricht man von einer flexiblen Fertigungszelle (FFZ). Die FFZ wird von einem Zellenrechner gesteuert. Der automatische Werkstücktransport kann von Handhabungsmaschinen oder Rollenfördersystemen übernommen werden. Die Abarbeitung der unterschiedlichen Werkstücke erfolgt entweder in der durch das Bestücken vorgegebenen Reihenfolge oder einer im Zellenrechner definierten Reihenfolge. Die Zuordnung der teilspezifischen Bearbeitungsprogramme erfolgt dann ebenfalls vom Zellenrechner oder wird durch mit den Werkstückträgern gekoppelten, codierten Informationen, wie z.B. Radio Frequency Identification (RFID) – Transponder, vorgegeben. [25]

Abhängig von der Größe des Werkstück- und Werkzeugspeichers kann die FFZ so über einen relativ großen Zeitraum selbstständig arbeiten. Ist es möglich eine FFZ über eine komplette Schicht bedienerlos zu betreiben, so kann die Amortisationszeit durch einen Mehrschichtbetrieb der Maschine drastisch reduziert werden. [25] Abbildung 3.7 zeigt als Beispiel einer flexiblen Fertigungszelle ein Universal – Bearbeitungszentrum mit angebundenem Palettenregal.

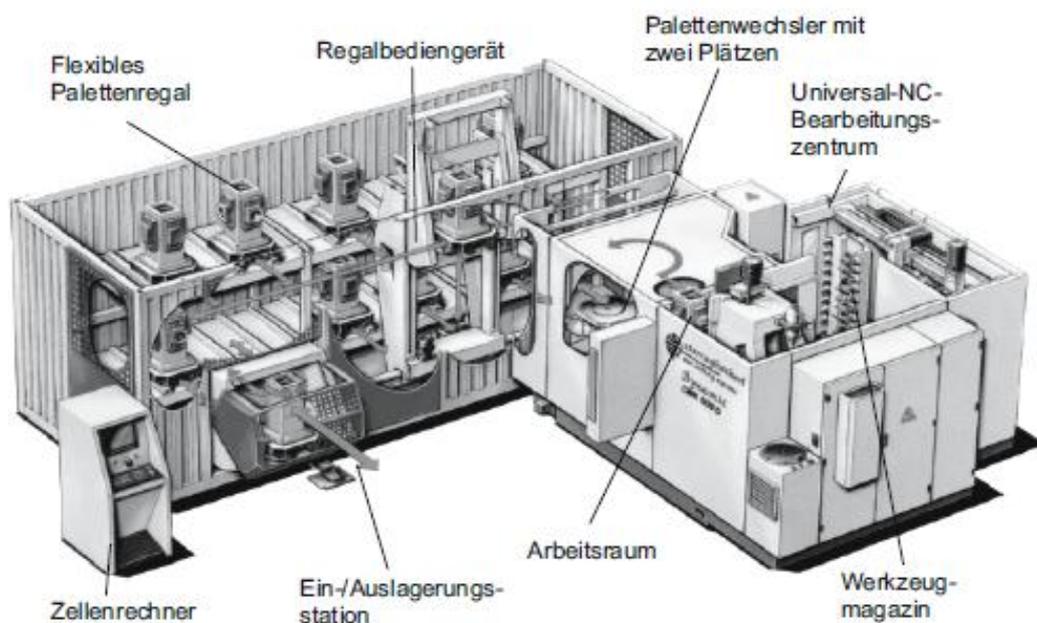


Abbildung 3.7 – Flexible Fräszelle mit Palettenregal [25]

### 3. Fertigungsautomatisierung

---

#### 3.3.4 *Flexible Fertigungssysteme*

Flexible Fertigungssysteme (FFS) werden in der englischsprachigen Literatur auch als „Flexible Manufacturing Systems“, kurz FMS bezeichnet. In weiterer Folge wird in dieser Arbeit der deutschsprachige Begriff verwendet. Die Grundbausteine jedes flexiblen Fertigungssystems bilden mehrere sich ergänzende oder ersetzende NC – Maschinen, in der Regel Bearbeitungszentren, Messmaschinen, Waschmaschinen etc. In diesem Zusammenhang versteht man unter sich ersetzende Bearbeitungsmaschinen gleichartige Maschinen, welche die gleichen Bearbeitungsmöglichkeiten aufweisen und somit gegeneinander austauschbar sind. Die Einzelmaschinen werden durch geeignete Systeme zum Werkstück- und Werkzeugtransport ergänzt. Das Herzstück bildet der Fertigungsleitreechner, von dem sowohl die Werkstück- und Werkzeugtransportsysteme, als auch die NC- und Betriebsdatenhandhabung gesteuert werden. [25]

Um die Kosten bei Erstinvestition bzw. beim Nachrüsten deutlich zu reduzieren, können flexible Fertigungssysteme größtenteils aus standardisierten Komponenten zusammengestellt werden. Ein kompaktes flexibles Fertigungssystem zeigt Abbildung 3.8.

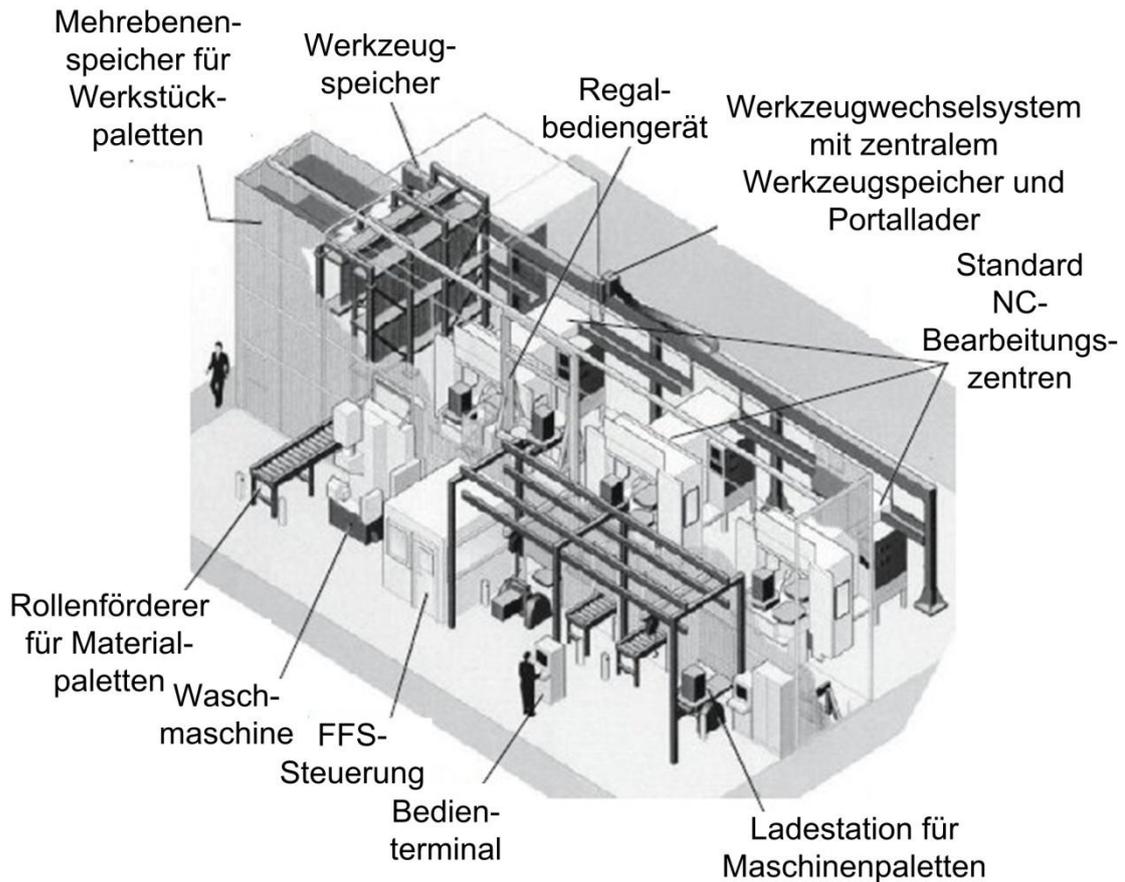


Abbildung 3.8 – Flexibles Fertigungssystem [25]

#### 3.3.5 Transferstraßen

Eine Transferstraße besteht aus miteinander verketteten Einzweckmaschinen. In diesem Zusammenhang versteht man unter Einzweckmaschinen Sondermaschinen, die speziell auf die jeweilige Bearbeitungsaufgabe ausgelegt sind und über fest vorgegebene Werkzeuge verfügen. [26]

Aufgrund der geringen Anpassungsmöglichkeiten an variierende Bearbeitungsaufgaben und auch der hohen Investitionskosten sind Transferstraßen nur in der Massen- und Großserienproduktion wirtschaftlich einsetzbar. Abbildung 3.9 zeigt eine Transferstraße der Firma MAG Industrial Automation Systems, die aus modularen Einheiten aufgebaut ist. Der modulare Aufbau erlaubt eine schnelle Endmontage des Systems und senkt den Aufwand bei einem notwendigen Umbau der Transferstraße.

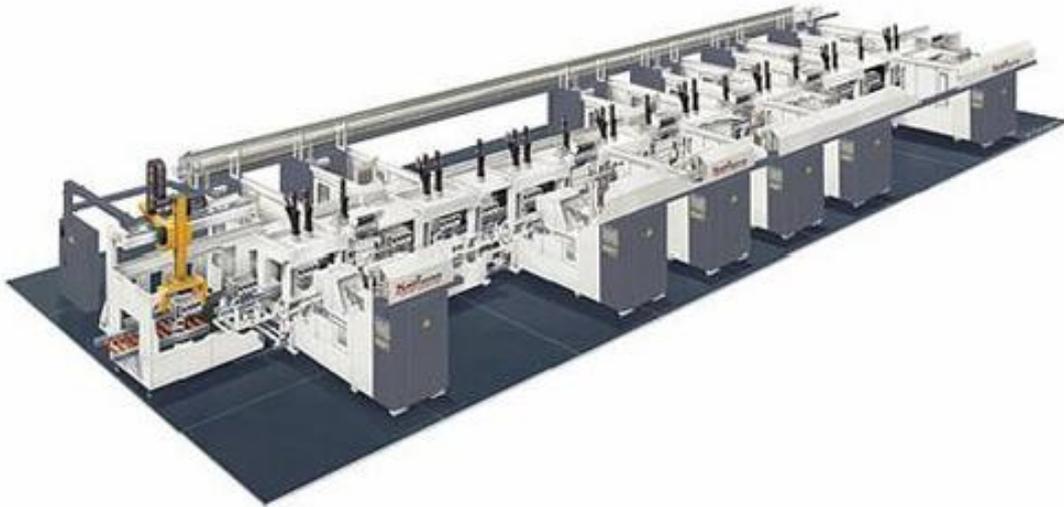


Abbildung 3.9 – Transferstraße [27]

#### 3.3.6 Flexible Transferstraßen

Der markante Unterschied zum flexiblen Fertigungssystem besteht in der vorgegebenen Bearbeitungsfolge. Während bei flexiblen Fertigungssystemen eine vom Fertigungsleitreechner gesteuerte beliebige Maschinenreihenfolge möglich ist, ist diese bei flexiblen Transferstraßen durch die räumliche Anordnung der Bearbeitungsstationen festgelegt.

Flexible Transferstraßen besitzen einen gerichteten Materialfluss. Über eine automatische Werkstücktransportvorrichtung sind die einzelnen Bearbeitungsstationen räumlich und oftmals auch zeitlich miteinander verkettet. Die Weitergabe zwischen den Arbeitsstationen kann getaktet oder ungetaktet mit Zwischenpuffern erfolgen. Im Gegensatz zu Transferstraßen handelt es sich bei den Bearbeitungsstationen in flexiblen Transferstraßen um Mehrzweckmaschinen, d.h. Bearbeitungszentren mit Werkzeugwechseleinrichtung samt Werkzeugmagazin. Aufgrund dieses Unterschiedes spricht man von flexiblen Transferstraßen. [26]

#### 3.3.7 Verkettung und automatisierte Transportsysteme

Um die Werkstücke bzw. Werkstückträger von einer Bearbeitungsstation zur nächsten transportieren zu können, bedarf es geeigneter Transportsysteme. Dem jeweiligen Zweck angepasst, gibt es verschiedene Ausführungen. Die am weitest verbreiteten Transportsysteme sind im Folgenden angeführt:

### 3. Fertigungsautomatisierung

---

#### *Elektrohängebahnsystem*

Beim Elektrohängebahnsystem (EHB) können die Werkstückträger auf einem einzelnen Schienenstrang durch eigene Antriebe unabhängig voneinander gesteuert werden. [21]

#### *Power and Free - Förderer*

Power and Free - Förderer sind auch als Schleppkreisförderer geläufig. Es handelt sich dabei um Zwei - Schienensysteme, bei denen in der oberen Schiene eine Kette läuft, die den Laufwagen samt Fördergut in der unteren Schiene transportiert. [28]

#### *Doppelgurt – Transportsystem*

Beim Doppelgurt - Transportsystem liegen die Werkstückträger auf zwei Gurtsträngen auf. Zur Bearbeitung werden die Werkstückträger vom Band abgehoben, während die Bänder weiterlaufen. [21]

#### *Fahrerlose Transportsysteme*

Unter einem fahrerlosen Transportsystem (FTS) versteht man ein innerbetriebliches, flurgebundenes Fördersystem mit automatisch gesteuerten Fahrzeugen. Die wesentlichen Komponenten eines FTS sind: [29]

- mindestens ein fahrerloses Transportfahrzeug
- Leitsteuerung
- Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lageerfassung
- Einrichtungen zur Datenübertragung
- Infrastruktur und periphere Einrichtungen

Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) sind flurgebundene Fördermittel, die über einen eigenen Fährantrieb verfügen. Die Führung erfolgt berührungslos und die Steuerung automatisch. In der englischsprachigen Literatur ist die Bezeichnung „Automated Guided Vehicles“ (AGV) üblich. [29]

Die gebräuchlichsten Arten der Fahrzeugführung sind: [29]

- Induktivführung: Leitdraht ist im Boden eingebracht.
- Magnavigation: Im Boden sind vereinzelt Magnetpunkte eingebracht.

### 3. Fertigungsautomatisierung

- Lasernavigation: Entlang der Streckenführung sind Reflektoren angebracht, mit deren Hilfe über einen Laser am FTF eine virtuelle Leitlinie errechnet wird.

#### 3.3.8 Fertigungsleistung und Flexibilität

Die Anforderung nach höchster Fertigungsleistung bei gleichzeitig höchster Flexibilität ist nicht zu erfüllen, da die beiden Forderungen konträr sind. Höhere Fertigungsleistung wird immer durch ein geringeres Maß an Flexibilität erkaufte. Die schon vorgestellten automatisierten Fertigungssysteme zeichnen sich durch ein unterschiedlich hohes Maß an Flexibilität aus, wie in Abbildung 3.10 ersichtlich ist. Für eine Produktion gilt es, das jeweils optimale Fertigungssystem zu wählen. Im Allgemeinen lässt sich sagen: „So viel Flexibilität wie notwendig“. So bringt einem Massenproduzenten mehr Flexibilität nur Einbußen in Stückzahlen, während ein Auftragsfertiger die hohe Fertigungsleistung einer Transferstraße bei geringen Stückzahlen nicht annähernd ausnützen könnte.

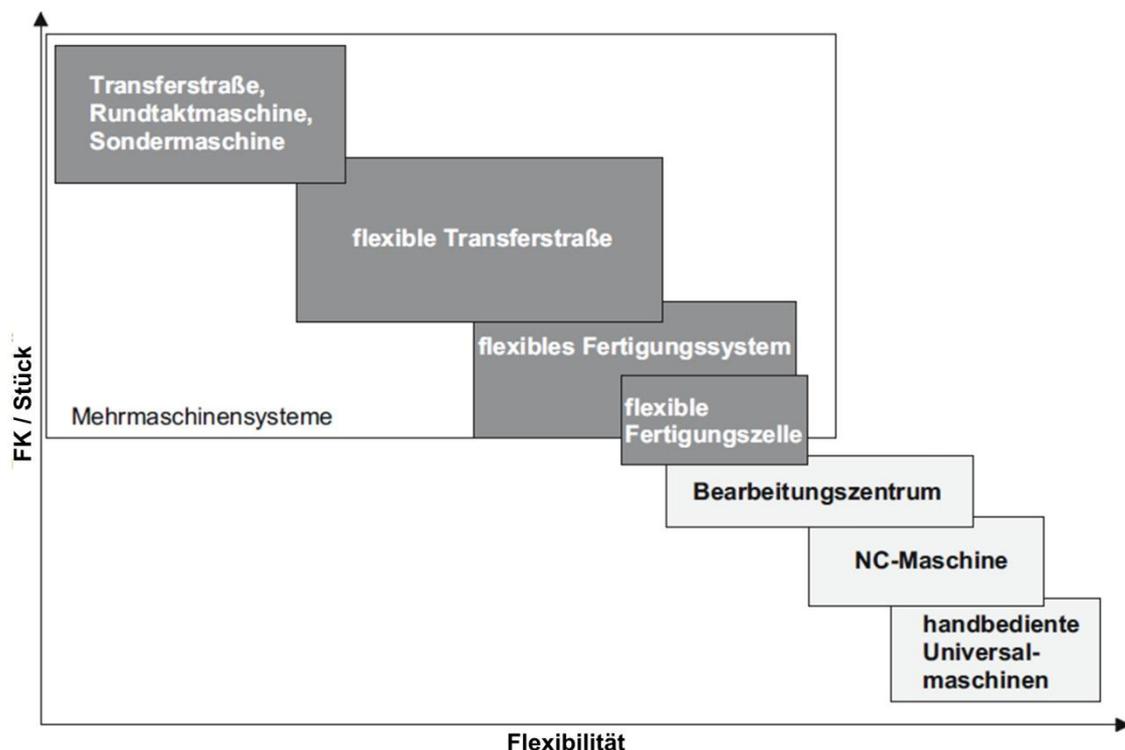


Abbildung 3.10 – Produktivität und Flexibilität verschiedener Fertigungssysteme [25]

#### 3.4 Automatisierbare Fertigungstechnologien

Ob sich eine Fertigungstechnologie zur Automatisierung eignet, hängt von einer Vielzahl an Faktoren ab. Dazu zählen unter anderem die Maschinenzugänglichkeit für Be- und Entladeoperationen, Werkzeugabnutzung im Fertigungsprozess, Fehler- und Störanfälligkeit sowie die Anwendungshäufigkeit und Verbreitung des Verfahrens. In Abschnitt 5.4.3 wird eine im Rahmen einer Expertenrunde der TU Wien erstellte Reihung der Automatisierungseignung ausgewählter Fertigungstechnologien dargestellt.

Von *Lotter und Wiendahl* [30] wird die Automatisierbarkeit von Montageverfahren beschrieben. Dabei ergibt sich die Schwierigkeit einer Automatisierung durch den Schwierigkeitsgrad der Handhabungsoperation und jenem des Fügeverfahrens. Wesentliche Einflussfaktoren sind die Zugänglichkeit zum Fügeort, die Möglichkeit des Verhakens von Fügeteilen, die Werkstücksteifheit und das Sichern von Teilen während der Montage. Für das automatisierte Fügen biegeschlaffer Teile werden meist Vorrichtungen benötigt.

Betrachtet man den Automatisierungsanteil nach Industriezweigen, so steht die Automobil – Branche mit einer Industrieroboterdichte von mehr als 400 pro 10.000 Mitarbeitern klar an der Spitze. Abbildung 3.11 zeigt die Industrieroboterdichte weiterer Industriezweige. [31]

### 3. Fertigungsautomatisierung

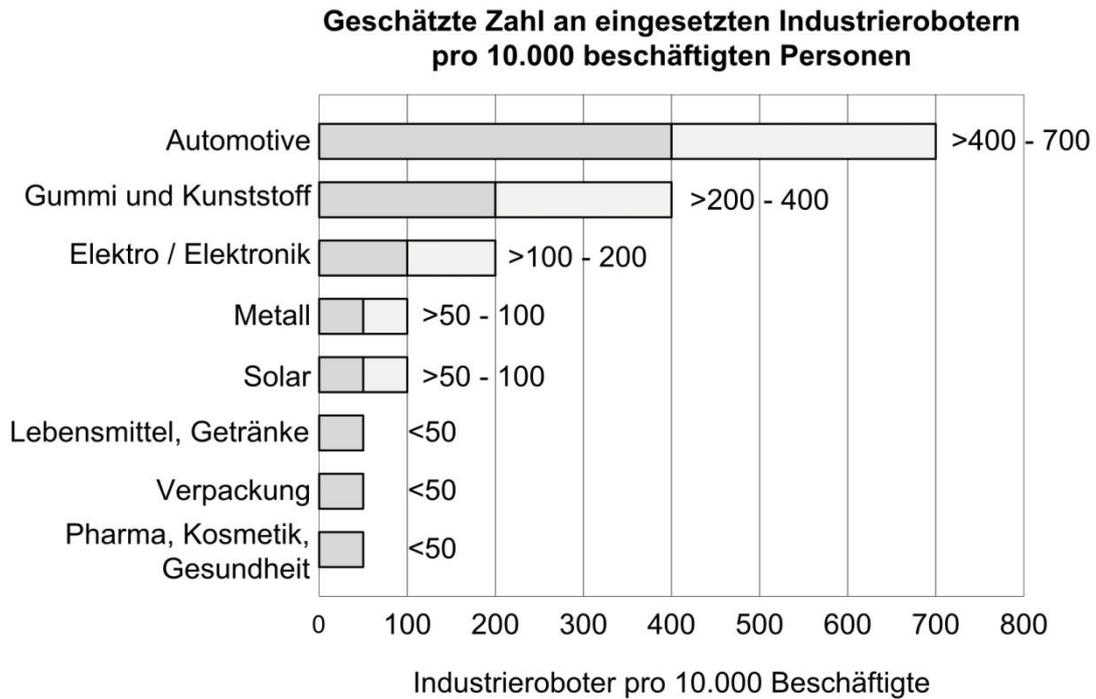


Abbildung 3.11 – Industrieroboterdichte nach Industriezweigen 2010 [31]

#### 3.5 Ethik des Automatisierens

Der Begriff des Automatisierens wird im Allgemeinen mit dem Wegfall von Arbeitsplätzen assoziiert und ist somit negativ belegt. Dieser Abschnitt betrachtet den Begriff des Automatisierens aus ethischer Sicht.

Ethik ist eine philosophische Disziplin, die das sittliche Verhalten des Menschen zum Gegenstand hat. Im Zusammenhang mit Automatisierung betrachtet man die Auswirkungen ebendieser auf den Menschen.

Oftmals wird Fertigungsautomatisierung mit dem Wegfall von Arbeitsplätzen gleichgesetzt. Automatisierung ersetzt menschliche Arbeitskraft, zwar unter anderem mit dem Ziel, Arbeitskosten und damit Arbeitsplätze zu reduzieren, doch auch um gesundheitsschädliche Arbeitsplätze zu ersetzen und die Produktqualität zu erhöhen.

##### *Reduktion der Arbeitskosten*

Mit dem Ziel jedes Unternehmens, Gewinn zu erzielen, ist es gleichzeitig auch seinen Mitarbeitern verpflichtet, dieses Ziel zu erreichen, da der Produktionsstandort davon abhängt. Ist die Wirtschaftlichkeit eines Standortes nicht mehr gegeben, so ist der gesamte Standort in Gefahr. Unter diesem Gesichtspunkt ist auch das Ersetzen von menschlicher durch

### 3. Fertigungsautomatisierung

---

maschinelle Arbeit zu betrachten. Mag ein Jobverlust für den Einzelnen auch tragisch sein, so ist dies vergleichsweise harmlos zum Fall, dass ein kompletter Standort schließen oder in Niedriglohnländer verlegt werden muss. Außerdem kann ein Gewinn erzielendes Unternehmen seine Produktion ausweiten und somit auch wieder neue Arbeitsplätze schaffen.

#### *Ersetzen von gesundheitsschädlichen Arbeitsplätzen*

Eindeutig positiv zu beurteilen ist das Ersetzen von gesundheitsschädlichen Arbeitsplätzen. Das sind physisch gesundheitsschädliche (z.B. toxischer Staub) und psychisch gesundheitsschädliche Arbeitsplätze (z.B. monotone Arbeit).

#### *Erhöhung der Produktqualität*

Höhere Qualität in der Fertigung bedeutet weniger Ausschuss und damit eine ressourcen- und umweltschonende Produktion.

# 4 Entwicklung der Entscheidungsmethodik

Dieses Kapitel befasst sich mit der Entwicklung der Entscheidungsmethodik. Dabei erfolgt ausgehend von dem Ziel der Entscheidungsmethodik und den daraus abgeleiteten Anforderungen eine Konzeption, die am Ende des Kapitels auf ihre Vollständigkeit überprüft wird.

## 4.1 Ziel der Entscheidungsmethodik

Die Entscheidungsmethodik soll es dem Produktionsleiter oder Produktlinienmanagern eines Unternehmens ermöglichen, den Bereich Fertigung in regelmäßigen Abständen, wie z.B. im Jahresrhythmus, auf Optimierungspotential hinsichtlich Fertigungsautomatisierung zu überprüfen. Der Aufwand für Datenerhebung und Zukunftsprognosen soll dabei im Vergleich zu Methoden der Investitionsrechnung so gering sein, dass es in akzeptabler Zeit möglich ist, die gesamte Fertigung zu überprüfen. Somit soll eine nachvollziehbare und objektive Entscheidungskette geschaffen werden, die Aufschluss über die Sinnhaftigkeit von Investitionen in die Automatisierung der Fertigung gibt und dies nicht der subjektiven und rein auf Erfahrung aufgebauten Einschätzung des Produktionsleiters überlässt.

## 4.2 Anforderungen an die Methodik

Abgeleitet aus dem in Kapitel 4.1 beschriebenen Ziel ergeben sich folgende Anforderungen an die Entscheidungsmethodik:

- Geringer Aufwand an Datenerhebung

Um die Entscheidungsmethodik in regelmäßigen Abständen durchführen zu können, soll der Aufwand an Datenerhebung und Zukunftsprognosen im Vergleich zu Verfahren der Investitionsrechnung gering sein.

## 4. Entwicklung der Entscheidungsmethodik

---

- Zuverlässigkeit der Ergebnisse

Die Methodik muss zuverlässige Ergebnisse liefern, da auf deren Basis unter Umständen hohe Investitionen getätigt werden.

- Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse

Die Methodik soll auf objektiven Kriterien basieren, um dadurch jederzeit gut nachvollziehbar zu sein.

- Vorgegebene Schritte und Entscheidungskompetenzen

Um Unklarheiten und dadurch entstehenden Zeitverlust zu vermeiden, soll die Entscheidungsmethodik einem klar vorgegebenem Ablauf mit eindeutig definierten Entscheidungskompetenzen an jeder Entscheidungsstelle folgen.

### 4.3 Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit der Fertigungsautomatisierung

Als wesentlichste Faktoren, die über die Sinnhaftigkeit der Fertigungsautomatisierung entscheiden, sind folgende anzuführen:

- Arbeitskostenniveau

Unter Arbeitskosten sind die für den Arbeitgeber anfallenden Kosten für Löhne zu verstehen. Das Arbeitskostenniveau ist stark von der Region abhängig.

- Produzierte Stückzahl

Ein wichtiger Faktor sind sowohl die pro Monat produzierte Stückzahl des betrachteten Produktes, als auch die über den gesamten Produktlebenszyklus gefertigte Stückzahl.

- Eignung der Fertigungstechnologie

Voraussetzung für eine Erhöhung des Automatisierungsgrades ist die technische Umsetzbarkeit für die betrachtete Fertigungstechnologie. Ist die technische Umsetzung zwar vorstellbar, jedoch z.B. aufgrund sehr teurer Vorrichtungen sehr aufwendig, so ist diese Automatisierungslösung wirtschaftlich schwieriger zu realisieren, als eine Automatisierungslösung, die aus Standardkomponenten besteht.

#### 4. Entwicklung der Entscheidungsmethodik

---

- Investitionskosten der Automatisierungsmaßnahme

Darunter fallen alle für den betrachteten Automatisierungsschritt notwendigen Maßnahmen, wie z.B. Einrichtungen zur Werkstückhandhabung, Vorrichtungen, Messeinrichtungen und wenn notwendig neue Fertigungsanlagen.

- Nutzungsdauer der Fertigungsanlage

Die Nutzungsdauer der Fertigungsanlage muss nicht mit der Produktlebensdauer übereinstimmen. Die Nutzungsdauer der Anlage kann erhöht werden, wenn diese für ein mögliches Nachfolgeprodukt oder einen anderen Zweck wiederverwendet werden kann.

- Arbeitsintensive oder maschinenintensive Fertigung

Durch automatisierte Fertigung sollen unter anderem Personalkosten eingespart werden. Da in arbeitsintensiven Fertigungsprozessen der relative Anteil an Personalkosten höher ist, besitzen diese daher im Allgemeinen höheres Automatisierungspotential als maschinenintensive Fertigungsprozesse.

- Verkürzung der Durchlaufzeit

Ein erhöhter Automatisierungsgrad der Fertigung kann eine Verkürzung der Durchlaufzeit bewirken. Dadurch ergeben sich ein geringerer Umlaufbestand sowie die damit verbundene geringere Summe an gebundenem Kapital. Unter Umlaufbestand versteht man den in der laufenden Produktion gebundenen Bestand.

- Qualitätsniveau

Kriterium ist die geforderte, verglichen mit der durch automatisierte Fertigung technologisch erzielbaren, Fertigungsgenauigkeit. Wenn durch eine Erhöhung des Automatisierungsgrades auch eine Erhöhung der Prozesssicherheit zu erwarten ist, so reduziert sich der Ausschuss und es kommt zu Kosteneinsparungen. Das kann bis zum Null - Fehler - Programm (Zero – Defects - Concept) gehen. Unter - Null - Fehler - Programm versteht man das Ziel, null Fehler zu fertigen, unter der Annahme, dass nicht die Fertigung von Qualität sondern Ausschuss Kosten verursacht. [31]

- Gesundheitliche Aspekte

Gesundheitsschädliche Arbeitsplätze lassen sich in physisch- und psychisch- gesundheitsschädliche Arbeitsplätze unterteilen. Unter physisch- gesundheitsschädlicher Arbeit ist solche zu verstehen, die einen negativen Einfluss auf die körperliche Gesundheit des Menschen hat, wie z.B. Arbeit unter dem Einfluss von toxischem Staub. Unter psychisch- gesundheitsschädlicher Arbeit versteht man solche, die einen negativen Einfluss auf die geistige Gesundheit des Menschen hat, wie z.B. monotone Fließbandarbeit.

- Arbeitskräftemangel

Regional kann es zu einem Mangel an geeigneten Facharbeitskräften kommen. Besteht dieser über einen längeren Zeitraum bzw. ist dieser für die Zukunft prognostiziert, kann der Mangel durch Fertigungsautomatisierung ausgeglichen werden.

- Kapitalkosten

Die Kosten für die Beschaffung des für die Investition erforderlichen Kapitals müssen berücksichtigt werden. Wird die Investition aus vorhanden Eigenmitteln getätigt, so sind die durch eine sonstige Anlage des Kapitals entgangenen Zinsen zu berücksichtigen (kalkulatorische Zinsen).

### 4.4 Konzeption der Methodik

Es ist naheliegend, dass das Reduzieren von berücksichtigten Daten in einer Rechnung einen Genauigkeitsverlust des Ergebnisses nach sich zieht. Vor einer tatsächlichen Investition ist es daher unvermeidlich, eine genaue Investitionsrechnung durchzuführen. Die Investitionsrechnung muss allerdings nicht für alle Produkte durchgeführt werden, da bei vielen die Sinnhaftigkeit einer Automatisierung schon mit geringerem Rechnungsaufwand ausgeschlossen werden kann. Um trotz des hohen Aufwandes der Investitionsrechnung die gesamte Fertigung überprüfen zu können, bietet sich daher eine an den Stage - Gate - Prozess angelehnte Form an. Ein Stage - Gate - Prozess unterteilt einen Prozess in einzelne Abschnitte und Gates (Tore). An jedem Gate sind Entscheidungen zu treffen. In der konzipierten Entscheidungsmethodik, wird für jedes Produkt an einem

#### 4. Entwicklung der Entscheidungsmethodik

---

Gate entschieden, ob es „dieses passiert“ und weiterhin betrachtet wird, oder aus der Betrachtung ausscheidet.

Die Entscheidungsmethodik ist in fünf Phasen gegliedert. Nachdem die Produkte definiert wurden, verlangen die Phasen II, III und IV jeweils nach gewissen Kriterien. Nur wenn ein Produkt diese Kriterien in ausreichender Form erfüllt, gelangt es durch das Gate und wird in der nächsten Phase weiterhin berücksichtigt. Für Produkte, die auch Phase IV erfolgreich durchlaufen, folgt in Phase V die klassische Investitionsrechnung. Ein Produkt, das in Phase II bereits keine Sinnhaftigkeit zur Fertigungsautomatisierung aufweist, findet in den folgenden Phasen keine Berücksichtigung mehr. Da mit jeder Phase der Aufwand an Datenerhebung steigt, führt dieses Konzept zu einem Minimum an Aufwand. In Abbildung 4.1 ist das Konzept des Phasenmodells dargestellt.

<b>PHASE I</b>	Vorabüberlegungen
<b>PHASE II</b>	Auswahl der zu automatisierenden Produktion
<b>PHASE III</b>	Derzeitige Produktion
<b>PHASE IV</b>	Vergleich: derzeitige Fertigungskosten zu möglichen Fertigungskosten nach Investition
<b>PHASE V</b>	Investitionsrechnung

*Abbildung 4.1 – Konzept des Phasenmodells*

In Abbildung 4.2 ist die zugrundegelegte Problemlösungstechnik dargestellt. Eine Fertigung im Bereich Kleinserienfertigung soll hinsichtlich Automatisierung optimiert werden. Das Problem besteht darin, dass durch die Vielzahl an verschiedenen Produkten, ein erheblicher Aufwand für eine komplette Überprüfung entsteht. Im Rahmen der Problemdefinition werden allgemeine Vorabüberlegungen angestellt und die einzelnen Produkte

#### 4. Entwicklung der Entscheidungsmethodik

definiert. In der Auswahl werden die Produkte, für die Fertigungsautomatisierung in Frage kommt, eingeschränkt. In Phase III wird das Problem in einen methodeninternen Bewertungsraum abstrahiert. In diesem Bewertungsraum werden keine Aussagen über die absolute Sinnhaftigkeit einer Automatisierungslösung getätigt. Es wird lediglich eine Reihung, innerhalb der dafür infrage kommenden Produkte, erstellt. Durch die Investitionsrechnung in Phase V, erfolgt durch die Tätigung einer konkreten, auf realen Daten beruhenden Investitionsentscheidung, eine Rücktransformation in die Realität.

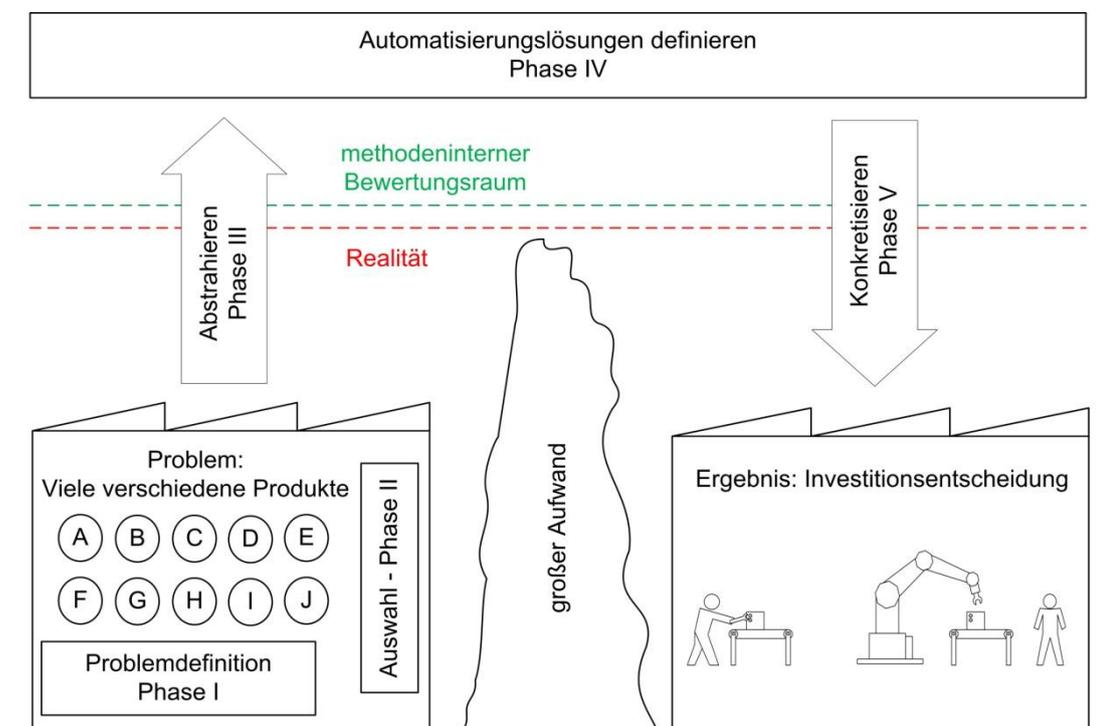


Abbildung 4.2 – Problemlösungstechnik der Entscheidungsmethodik

#### 4.5 Einflussfaktoren in der Entscheidungsmethodik

Tabelle 4.1 gibt Aufschluss darüber, an welchen Stellen die in Kapitel 4.3 angeführten Einflussfaktoren in die Entscheidungsmethodik integriert sind. Dabei wird nur der Einfluss in die Phasen I bis IV angegeben. Die Phase V der Investitionsrechnung findet hier keine Berücksichtigung.

<b>Einflussfaktor</b>	<b>Einfluss in</b>	<b>Phase</b>
Gesundheitliche Aspekte	Vorabüberlegungen	I
Arbeitskräftemangel	Vorabüberlegungen	I
Eignung der Fertigungstechnologie	Entscheidungsfeld: "Automatisierungsgerechte Kombination der Fertigungstechnologien?"	II
	Automatisierungskompetenz	III
Produzierte Stückzahl	Stückzahl-Kreis	III
	Fertigungskosten	IV
Nutzungsdauer der Fertigungsanlage	Stückzahl-Kreis	III
	Fertigungskosten	IV
Arbeitskostenniveau	Fertigungskosten-Kreis	III
	Fertigungskosten	IV
Arbeitsintensive oder Maschinenintensive Fertigung	Fertigungskosten-Kreis	III
	Fertigungskosten	IV
Qualitätsniveau	Automatisierungskompetenz	III
Kapitalkosten	Fertigungskosten	IV
Investitionskosten der Automatisierungsmaßnahme	Fertigungskosten nach Investition	IV

*Tabelle 4.1 – Einflussfaktoren in der Entscheidungsmethodik*

# 5 Entscheidungsmethodik

Aus dem in Kapitel 4 erarbeiteten Konzept folgt eine in 5 Phasen unterteilte Entscheidungsmethodik. Dieses Kapitel gibt zunächst eine Übersicht über die Methodik. Anschließend wird der Ablauf jeder Phase im Detail behandelt.

## 5.1 Übersicht

Die Entscheidungsmethodik behandelt zwar nicht nur technische und wirtschaftliche Kriterien, allerdings finden marketingtechnische Überlegungen und Aspekte innerhalb der Methodik keine Berücksichtigung.

Einen Überblick über das Phasenmodell der Entscheidungsmethodik gibt Abbildung 5.1.

<b>PHASE I</b>	Vorabüberlegungen
<b>PHASE II</b>	Auswahl der zu automatisierenden Produktion
<b>PHASE III</b>	Zwei - Kreismodell
<b>PHASE IV</b>	Vergleich der Fertigungskosten
<b>PHASE V</b>	Investitionsrechnung

*Abbildung 5.1 – Überblick über das Phasenmodell*

Zunächst werden in Phase I allgemeine Überlegungen angestellt. Das beinhaltet auch die Definition der zu betrachtenden Produkte. An dieser Stelle wird entschieden, in wie viele Fertigungsschritte ein Produkt unterteilt wird. Zu betrachtende Produkte können aus nur einem oder aus mehreren Fertigungsschritten bestehen und diese können auch mittels verschiedener Fertigungstechnologien entstehen. Aus den in Phase I angestellten Überlegungen können auch Anreize für eine Erhöhung des

## 5. Entscheidungsmethodik

Automatisierungsgrades hervorgehen, die über rein wirtschaftliche Aspekte hinausgehen. Dies könnte z.B. der Schutz von Personal an gesundheitsschädlichen Arbeitsplätzen sein. In Phase II wird basierend auf dem Produktionsvolumen eine erste Auswahl an Produkten getroffen, deren Automatisierung der Fertigung aussichtsreich erscheint. Basierend auf den Einflussgrößen Fertigungskosten, Stückzahl und Automatisierungskompetenz werden in Phase III Produkte, deren Automatisierung nicht aussichtsreich ist, ausgeschieden. In Phase IV werden für jedes Produkt konkrete Automatisierungslösungen erarbeitet, deren kalkulierte Fertigungskosten mit den derzeitigen Fertigungskosten verglichen werden. Vor einer tatsächlichen Investition ist in Phase V eine genaue Investitionsrechnung durchzuführen. Abbildung 5.2 zeigt das Phasenmodell der Entscheidungsmethodik mit beispielhaften Produktnamen. Da in Phase I für die weitere Betrachtung zwar wesentliche Vorabüberlegungen angestellt werden, jedoch keine Reihung der Produkte vorgenommen wird, scheint Phase I in dieser Abbildung nicht auf.

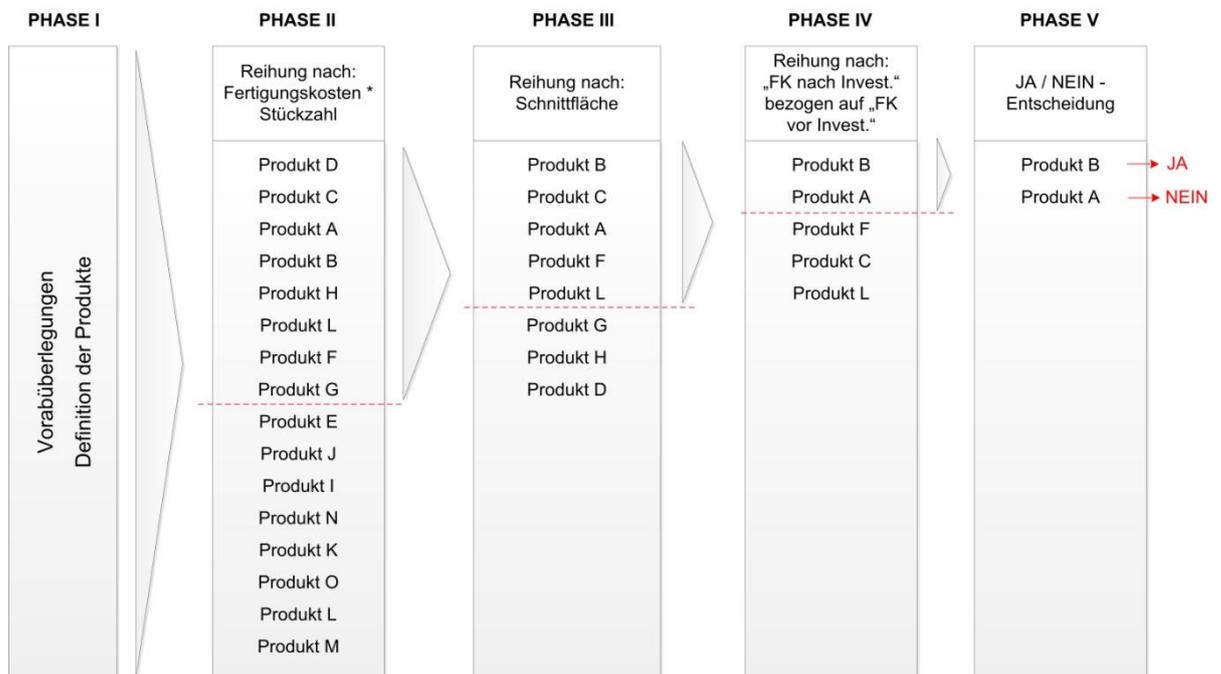


Abbildung 5.2 – Phasenmodell der Entscheidungsmethodik

### 5.2 Phase I: Vorüberlegungen

Phase I beschäftigt sich sowohl mit allgemeinen Aspekten der Fertigung als auch mit äußeren Einflüssen auf diese. Abbildung 5.3 stellt dies grafisch dar.

## 5. Entscheidungsmethodik

---

Da hier der Bereich Fertigung betrachtet wird, ist das Absatzpotential auch als äußerer Einflussfaktor zu sehen. Das Absatzpotential kann zwar von den Bereichen Marketing und Vertrieb beeinflusst werden, nicht jedoch von der Fertigung.

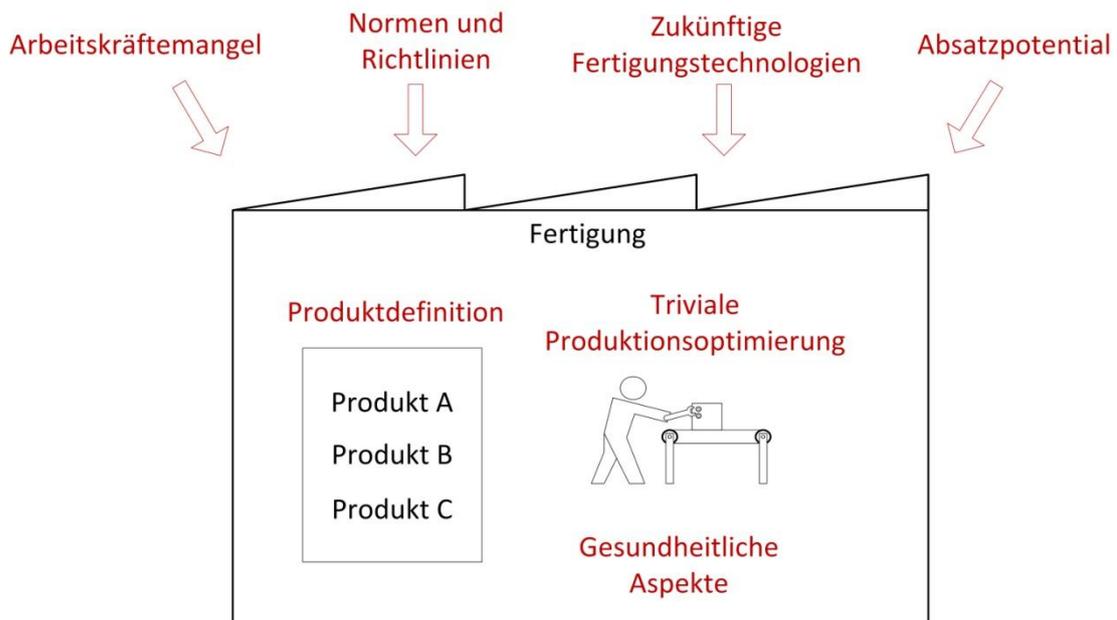


Abbildung 5.3 – Darstellung der Phase I

In Phase I sind folgende Überlegungen anzustellen:

a. *Definition der Produkte*

Unter einem Produkt ist in diesem Zusammenhang eine Betrachtungseinheit für die weitere Rechnung zu verstehen. Dies muss keineswegs ein für den Kunden fertiges Endprodukt sein, sondern kann genauso aus einem beliebigen Zwischenprodukt bestehen. Definierte Produkte können in einem oder auch in mehreren hintereinander durchgeführten Fertigungsschritten gefertigt werden, wobei die Fertigungsschritte auch unterschiedliche Fertigungstechnologien beinhalten können. Mit steigender Anzahl verschiedener Fertigungstechnologien steigt auch die Komplexität der Rechnung an.

## 5. Entscheidungsmethodik

---

- b. *Sind alle trivialen Möglichkeiten zur Produktionsoptimierung ausgeschöpft?*

Bevor über die Erhöhung des Automatisierungsgrades der Fertigung nachgedacht wird, muss sichergestellt sein, dass alle trivialen Maßnahmen zur Produktionsoptimierung ausgeschöpft sind. Damit sind alle nicht, oder mit nur sehr geringen Investitionen verbundenen Möglichkeiten gemeint. Wird das nicht eingehalten, baut die Rechnung auf unnötig hohen Fertigungskosten auf und liefert falsche Ergebnisse. Eine in diesem Zusammenhang triviale Maßnahme wäre beispielsweise die Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses. Tritt in der Fertigung Verschwendung in Form von fehlendem Material oder unnötigem Transport auf, so ist dieser Ablauf zuerst zu verbessern, bevor der Automatisierungsgrad erhöht werden kann. Das ist leicht verständlich, da auch eine hoch automatisierte Anlage ohne entsprechend bereitgestelltes Material nicht fertigen kann.

- c. *Gibt es Arbeitsplätze an denen Fertigungsautomatisierung aus gesundheitlichen Aspekten sinnvoll oder notwendig ist?*

Das können physisch gesundheitsschädliche oder psychisch gesundheitsschädliche Arbeitsplätze sein.

- d. *Besteht Mangel an Facharbeitskräften?*

Durch Fertigungsautomatisierung kann ein über längere Zeit bestehender oder prognostizierter Mangel an Facharbeitskräften kompensiert werden.

- e. *Treten in Zukunft neue Normen und Richtlinien in Kraft?*

Neue Normen oder Maschinenrichtlinien können die Notwendigkeit mit sich bringen, einen Arbeitsplatz verändern zu müssen. Neue Vorgaben könnten aus sicherheitstechnischen Gründen den Einsatz eines Menschen in bestimmten Arbeitssituationen verbieten.

- f. *Sind die Fertigungstechnologien von heute auch die von morgen?*

In welche Richtung entwickelt sich die Technologie und wie schnell wird die gewählte Fertigungstechnologie technisch überholt bzw. veraltet sein? Wenn bereits absehbar ist, dass eine neue Fertigungstechnologie eine bisher Angewendete, ersetzen wird, so macht es wenig Sinn in diese überholte Technologie zu investieren.

g. *Gibt es Produkte, die in höherer Stückzahl abgesetzt werden könnten?*

Könnten Produkte bei entsprechender Fertigungskapazität in höherer Menge als derzeit abgesetzt werden?

h. *Kann durch Fertigungsautomatisierung die Fertigungstiefe erhöht werden?*

Durch Fertigungsautomatisierung kann verhindert werden, dass Teile der Fertigung in Niedriglohnländer ausgelagert werden bzw. können ausgelagerte Produktionsbereiche in die eigene Produktion integriert werden. Vor allem wertschöpfende Prozesse sollten im eigenen Betrieb gehalten bzw. ingesourct werden.

### 5.2.1 Vorgehensweise

Die Fragen werden analog zum Flussdiagramm in Abbildung 5.4 Schritt für Schritt beantwortet.

Zunächst müssen die zu überprüfenden Produkte definiert werden. Die Produktdefinitionen behalten auch in den folgenden Phasen ihre Gültigkeit. Wird Frage b mit einem *Nein* beantwortet, so müssen zunächst alle trivialen Maßnahmen zur Produktionsoptimierung implementiert werden. Handelt es sich dabei um Schritte, die nicht unmittelbar implementiert werden können, so ist die Methodik vorerst abzubrechen und erst wieder anzuwenden, nachdem diese Schritte umgesetzt wurden. Können diese Maßnahmen unmittelbar implementiert werden, wird die Entscheidungsmethodik fortgesetzt. Handelt es sich bei der Optimierungsmaßnahme beispielsweise um das nächtliche Schließen von Fenstern der Produktionshalle, um die Heizkosten zu senken, so ist dies unmittelbar implementierbar. Werden jedoch logistische Probleme in der Materialbereitstellung und damit verbundene Maschinenstillstandzeiten ausgemacht, so sind diese Probleme vor einer Fortsetzung der Methodik zu beheben, da auch automatisierte Anlagen hierfür keine zwangsläufige Verbesserung bringen.

Muss eine der Fragen c, d und e mit einem *Ja* beantwortet werden, sind die davon betroffenen Produkte mit Angabe des Grundes auf Liste A, die im Anhang vorhanden ist, zu setzen. Diese Produkte werden dann direkt in Phase IV betrachtet. Für diese Produkte gibt Phase IV Aufschluss darüber, wie viel eine Erhöhung des Automatisierungsgrades aus einem der Gründe

kosten würde. Im günstigsten Fall ergibt Phase IV, dass Automatisierung sich auch aus wirtschaftlichen Gründen lohnt.

Ergibt die Beantwortung der Frage f für zumindest ein Produkt ein *Nein*, ist zu beantworten, ob eine Umstellung auf eine zukunftssträchtige Fertigungstechnologie denkbar ist. Wenn dies nicht der Fall ist, sind die betroffenen Produkte von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Ist eine Umstellung denkbar, ist zu überlegen, ob eine Sonderbetrachtung mit dem Ziel, Aufschluss über die entstehenden Kosten für eine etwaige Technologieumstellung zu bekommen, erwünscht ist. Bei einem *Ja* werden die entsprechenden Produkte auf Liste B gesetzt. Dort angeführte Produkte werden direkt in Phase IV betrachtet, wodurch ein Vergleich der heutigen Fertigungskosten mit den Kosten nach einer Technologieumstellung, garantiert ist. Wird keine Sonderbetrachtung einer Technologieumstellung gewünscht, wird die Methodik fortgesetzt und die jeweiligen Produkte wie vorgesehen in Phase II überprüft.

Wird Frage g positiv beantwortet, so werden die Stückzahlen der betroffenen Produkte durch die Absatzpotentiale ersetzt. Diese Produkte werden, anschließend an die Bezeichnung, mit einem „\*“ gekennzeichnet. Besteht Zweifel daran, dass das ermittelte Absatzpotential konstant bleibt, bzw. gibt es andere Gründe, nicht mit der theoretisch möglichen Stückzahl zu rechnen, so ist die derzeitige Stückzahl zu verwenden und die Kennzeichnung mittels „\*“ entfällt. Es obliegt der Expertenrunde eventuell auch beide Fälle in die weitere Betrachtung aufzunehmen. In diesem Fall scheint das Produkt im weiteren Verlauf zweimal auf, ist jedoch einmal mit einem „\*“ gekennzeichnet.

## 5. Entscheidungsmethodik

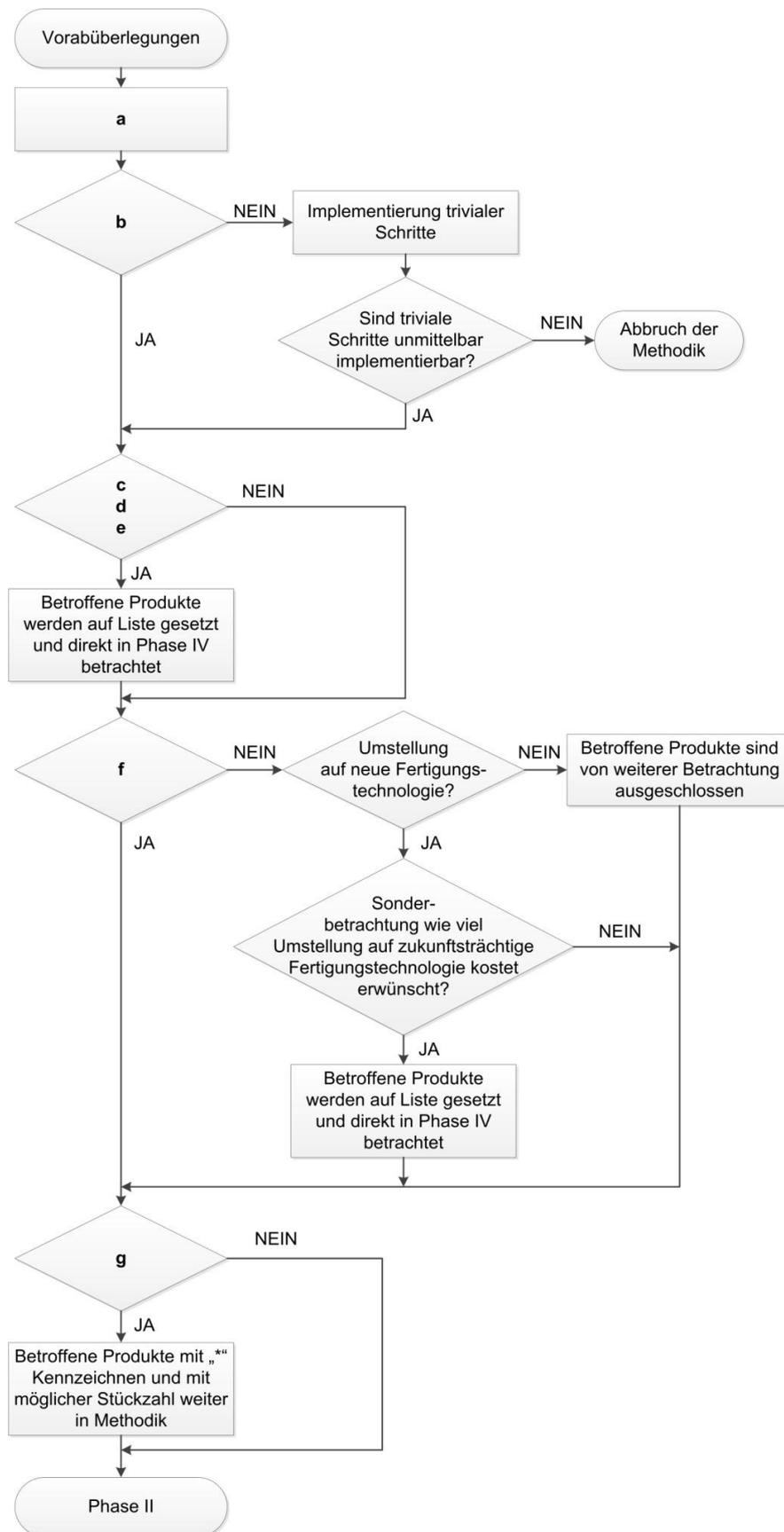


Abbildung 5.4 – Vorabüberlegungen; Bezeichnungen a-g beziehnehmend auf Kapitel 5.2

### 5.2.2 Durchführung und Entscheidungskompetenz in Phase I

Phase I wird im Rahmen eines Expertengesprächs durchgeführt. Aufgrund des notwendigen breiten Wissens über die Fertigung und ihre Prozesse muss der Produktionsleiter und, wenn vorhanden, die betroffenen Produktlinienmanager anwesend sein. Desweiteren soll ein Vertreter der Personalabteilung mit guten Kenntnissen des Arbeitsmarktes anwesend sein, um Auskunft über das Angebot an geeigneten Facharbeitskräften zu geben. Die Frage nach Produkten mit höherem Absatzpotential muss im Falle eines nicht vorhandenen Produktlinienmanagers von einem Vertreter des Vertriebes beantwortet werden. Die Frage nach gesundheitsschädlichen Arbeitsplätzen sollte zusätzlich mit dem Betriebsrat abgeklärt werden.

### 5.3 Phase II: Auswahl der zu automatisierenden Produktion

Denkt man über eine Automatisierung der Fertigung nach, so muss definiert werden, welches Teilespektrum betrachtet werden soll. Das ist im Allgemeinen keine triviale Aufgabe. Verdeutlicht wird diese Aussage mit der Frage, ob es lohnenswerter ist, Teile die hohe Produktionskosten verursachen aber in geringer Stückzahl gefertigt werden, oder Teile die in hoher Stückzahl gefertigt werden, aber nur geringe Produktionskosten verursachen, automatisiert zu fertigen. In Phase II wird diese Problematik gelöst.

#### 5.3.1 Vorgehensweise

Das in Abbildung 5.5 dargestellte Flussdiagramm zeigt die Vorgehensweise in Phase II.

Zunächst wird definiert, wie viele Produkte aus dieser Phase auch in der Nächsten betrachtet werden sollen. Je nach Größe und Produktumfang der Fertigung, können hier verschiedene Kriterien festgelegt werden. Beispielsweise wird vereinbart, dass die oberen 50% der gereihten Produkte oder die 15 höchstgereihten Produkte in Phase III gelangen. Denkbar ist auch eine mehrstufige Variante, in der im ersten Schritt die zehn höchstgereihten Produkte betrachtet werden und nach Beendigung aller fünf Phasen entschieden wird ob Phase III bis Phase IV nun für die zwischen Positionen elf bis 20 gereihten Produkte durchgeführt wird.

## 5. Entscheidungsmethodik

---

Im nächsten Schritt müssen die notwendigen Daten erhoben werden. Dies sind:

- die jeweilige Monatsstückzahl und
- die jeweiligen Fertigungskosten

aller definierten Produkte.

Statt der Monatsstückzahl kann auch die über den gesamten Lebenszyklus erwartete Stückzahl verwendet werden. Dies ist allerdings nur zulässig, wenn dies einheitlich für alle Produkte erfolgt. Jedenfalls wird in Phase III dann die Stückzahl pro Monat benötigt. Unter den Fertigungskosten werden die Fertigungskosten pro Stück analog zu Kapitel 2.3 verstanden.

Zunächst werden alle Produkte nach dem Produktionsvolumen, das aus dem Produkt von Fertigungskosten und Stückzahl gebildet wird, gereiht. Die Reihung kann z.B. in Form einer Microsoft Excel Liste erfolgen.

Die Entscheidung „Stückzahl eines Teils vergrößerbar?“ hebt sich von der bereits in Phase I: Vorabüberlegungen gestellten Frage insofern ab, als hier geprüft wird, ob die benötigte Stückzahl durch interne Maßnahmen gesteigert werden kann. Während in Phase I das Absatzpotential an den Kunden hinterfragt wurde, wird an dieser Stelle die Möglichkeit hinterfragt, die zu fertigende Stückzahl des Produktes durch sinnvolles Variantenmanagement zu vergrößern. Ist dies möglich, so ist die zuvor durchgeführte Reihung entsprechend anzupassen. Der Begriff des Variantenmanagement wurde in Abschnitt 2.5 näher erläutert.

Obwohl über eine Erhöhung des Automatisierungsgrades erst nachgedacht werden sollte, wenn alle anderen Möglichkeiten zur Produktionsoptimierung ausgeschöpft sind, wird an der Entscheidungsstelle „Produktionskosten reduzierbar?“ betrachtet, ob die Produktionskosten ohne Automatisierungsmaßnahmen gesenkt werden können. Wenn dieser Punkt übergangen wird, so kann es passieren, dass die spätere Entscheidung für Fertigungsautomatisierung von zu hohen Produktionskosten ausgeht und daher falsch ist.

Danach muss entschieden werden, ob die derzeitige Fertigungstechnologie bzw. Kombination der Fertigungstechnologien zur Automatisierung geeignet ist. Ist dies nicht der Fall muss entschieden werden ob andere Fertigungstechnologien einsetzbar sind und/oder eine

## 5. Entscheidungsmethodik

---

automatisierungsgerechte Anpassung möglich ist. Wird diese Frage verneint, dann ist die Fertigungsautomatisierung des betrachteten Teils nicht möglich.

Sind die gewählten Fertigungstechnologien automatisierungstauglich, muss geprüft werden, ob die Konstruktion automatisierungsgerecht ist, oder ob der Fertigungsprozess durch eine geeignete Anpassung der Produktion effizienter gestaltet werden kann. Werden Änderungen vorgenommen, muss danach nochmals die Kombination der Fertigungstechnologien geprüft werden.

Das Ergebnis aus Phase II ist die „Endreihung Phase II“. Die Endreihung erfolgt nach dem Produkt aus Fertigungskosten und Stückzahl.

Haben alle Produkte das in Abbildung 5.5 dargestellte Flussdiagramm durchlaufen, ist Phase II abgeschlossen.

## 5. Entscheidungsmethodik

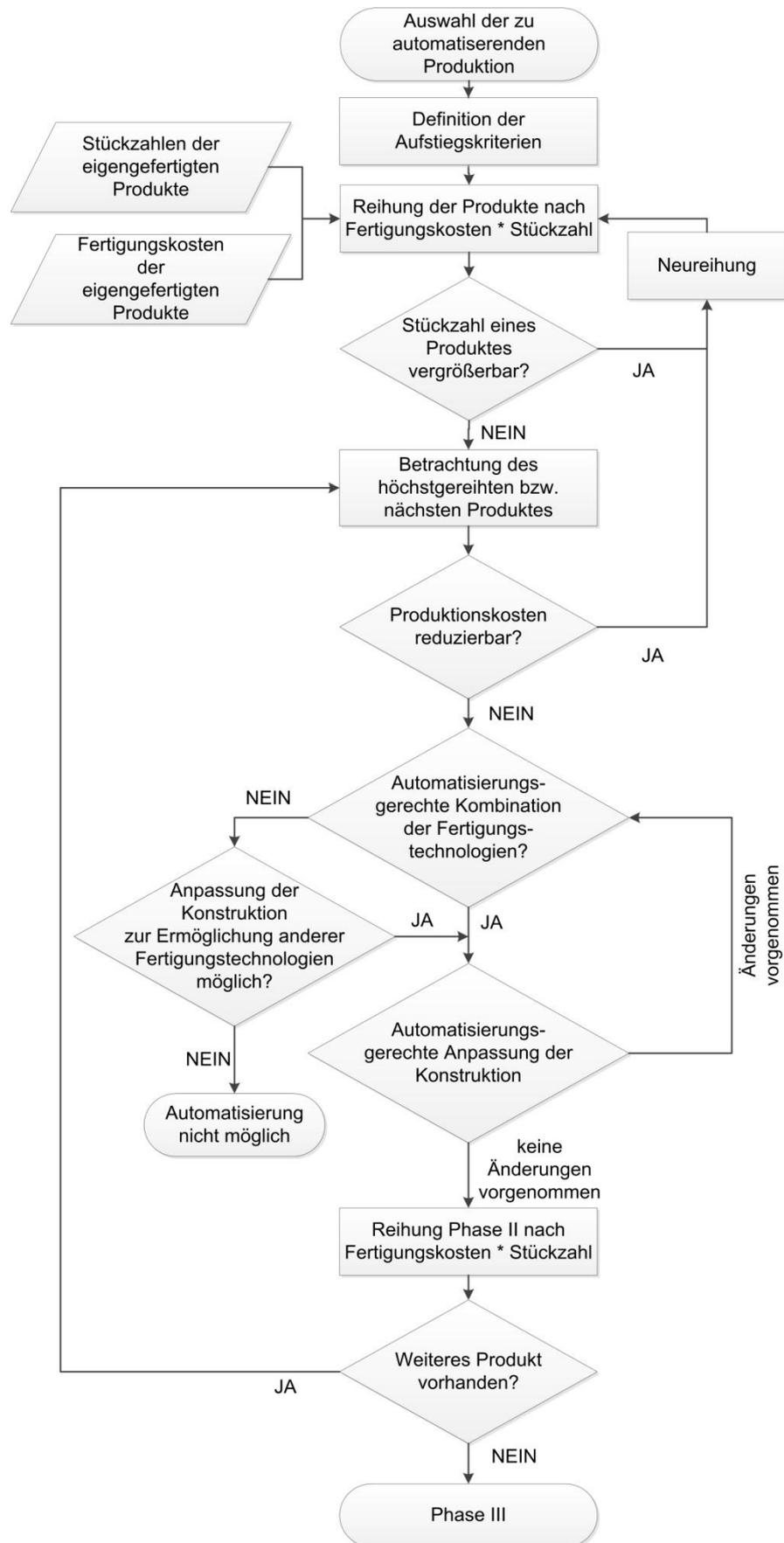


Abbildung 5.5 – Auswahl der zu automatisierenden Produktion

### 5.3.2 Durchführung und Entscheidungskompetenz in Phase II

Phase II kann entweder vom Produktionsleiter, den betroffenen Produktlinienmanagern oder von einer zu diesem Zweck gebildeten Arbeitsgruppe durchgeführt werden. Jedenfalls die Definition der Produkte sollte mit dem Produktionsleiter bzw. Produktlinienmanager abgestimmt werden. Desweiteren wird ein Vertreter der Abteilung Konstruktion für die Fragestellung nach Anpassung der Konstruktion benötigt.

Die in dieser Phase benötigten Daten, das sind Stückzahlen und Fertigungskosten der eigengefertigten Produkte, stammen in modernen Betrieben direkt aus dem ERP - System.

### 5.4 Phase III: Zwei - Kreismodell

Das Zwei-Kreismodell der Phase III bildet den Kern der Entscheidungsmethodik. Die Sinnhaftigkeit von Fertigungsautomatisierung basiert im Wesentlichen auf drei Einflussgrößen. Es sind dies die Fertigungskosten, die zu fertigende Stückzahl und die Automatisierungskompetenz. Was in diesem Zusammenhang unter Automatisierungskompetenz zu verstehen ist, wird in Kapitel 5.4.3 erläutert.

Die Einflussgrößen Fertigungskosten, Stückzahl und Automatisierungskompetenz werden im Zwei – Kreismodell abgebildet. Fertigungskosten und produzierte Stückzahl werden als Kreise dargestellt. Der Durchmesser der Kreise vergrößert sich mit steigenden Fertigungskosten bzw. steigender Stückzahl. Der Abstand der Kreismittelpunkte wird durch die Automatisierungskompetenz gegeben. Die Schnittfläche der beiden Kreise symbolisiert den Bereich in dem Fertigungsautomatisierung wirtschaftlich umgesetzt werden kann. Besitzen die beiden Kreise keine gemeinsame Schnittfläche, so ist keine wirtschaftliche Fertigungsautomatisierung möglich. Abbildung 5.6 stellt das Zwei – Kreismodell mit gemeinsamer Schnittfläche dar.

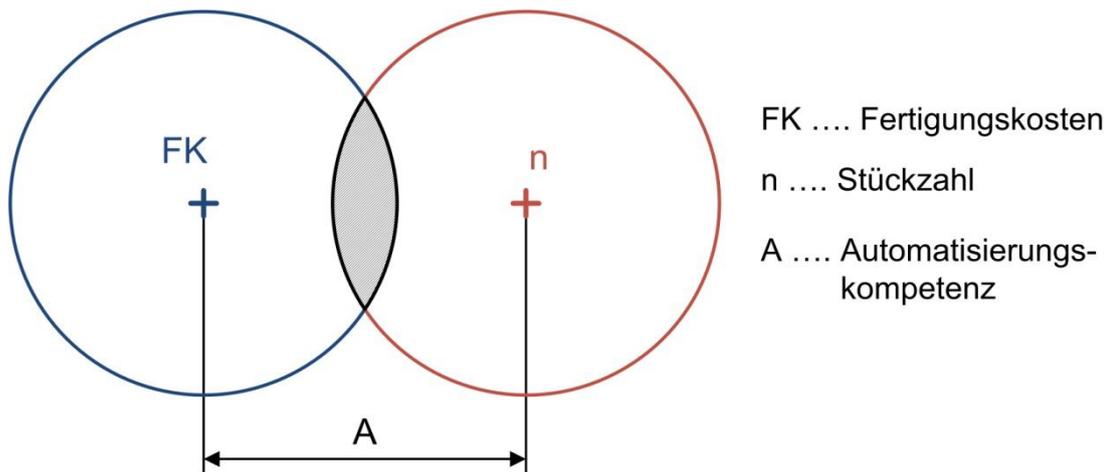


Abbildung 5.6 – Zwei-Kreismodell der Fertigungsautomatisierung

Ist z.B. die zu fertigende Stückzahl des betrachteten Produktes so klein, dass die Kreise keine gemeinsame Schnittfläche aufweisen, ist keine sinnvolle Automatisierung der Fertigung möglich. Um dennoch wirtschaftlich automatisieren zu können, muss entweder einer der beiden Kreise durch geeignete Maßnahmen - wie z.B. Erhöhung der Stückzahl durch Variantenmanagement - vergrößert werden, oder der Abstand der Kreismittelpunkte, durch Erhöhung der Automatisierungskompetenz, verkleinert werden. Durch eine Erhöhung der gefertigten Stückzahl vergrößert sich der Radius des Stückzahl-Kreises, wie in Abbildung 5.7 ersichtlich ist. In den Kapiteln 5.4.1 bis 5.4.3 werden die drei Einflussgrößen näher behandelt.

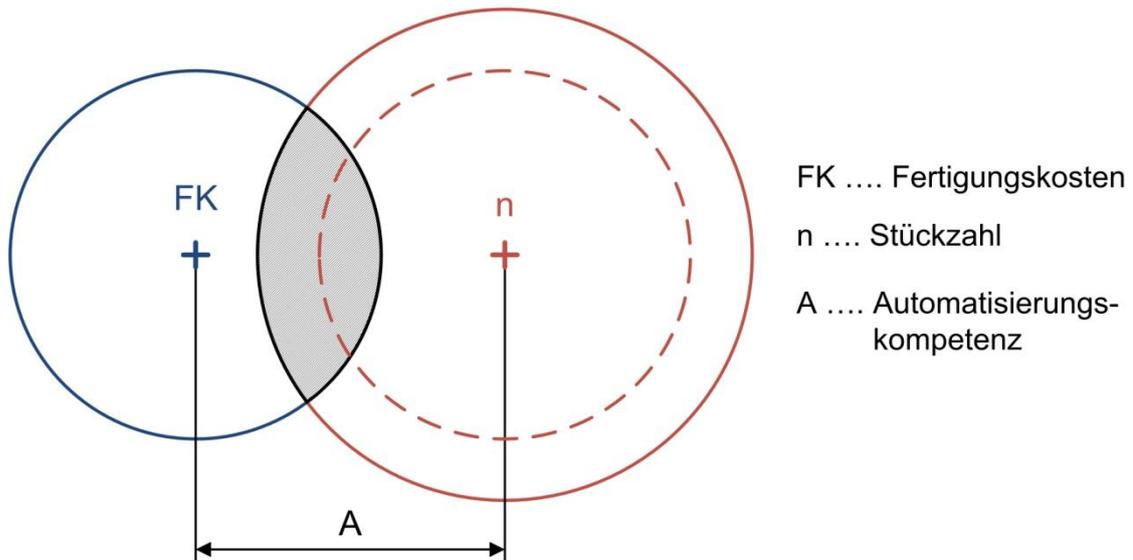


Abbildung 5.7 – Erhöhung der Stückzahl im Zwei-Kreismodell der Fertigungsautomatisierung

#### 5.4.1 Fertigungskosten

Der Begriff bezieht sich auf die in Abschnitt 2.3 beschriebenen Fertigungskosten. Es handelt sich immer um die auf Stückzahl bezogenen Fertigungskosten. Um Fertigungskosten einem Kreisdurchmesser zuordnen zu können, erfolgt eine Klassifizierung in zehn Klassen. Die Nummerierung der Klasse ist gleichbedeutend mit dem Kreisdurchmesser.

Zunächst muss ein Unternehmen sein Teilespektrum untersuchen. Dabei wird das Produkt, das die höchsten Fertigungskosten verursacht, ermittelt. Dieser Wert wird als  $FK_{max}$  bezeichnet. Die Obergrenze der Klasse 9 wird mit  $FK_{max} / 2$  festgelegt. Davon ausgehend werden die Obergrenzen der Klassen 1 – 8 über eine Normzahlenreihe nach DIN 323 definiert. Die Bildung einer Normzahlenreihe mit beliebig vielen Stufen erfolgt nach folgender Formel: [7]

$$\varphi = \sqrt[n]{10} \quad (5.1)$$

mit  $\varphi$  Stufensprung der Reihe  
 $n$  Stufenzahl innerhalb einer Dekade

## 5. Entscheidungsmethodik

Für eine Normzahlenreihe R8 ergeben sich folgende Werte:

Bereich	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Reihe R8	1	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5	10

Tabelle 5.1 – Normzahlenreihe R8

Das Bildungsgesetz der Klasseneinteilung ist in Tabelle 5.2 dargestellt.

Fertigungskosten / Stück		Kreisdurchmesser
0	$< \epsilon \leq \frac{FK_{max}}{2} * 0,10$	1
$\frac{FK_{max}}{2} * 0,10$	$< \epsilon \leq \frac{FK_{max}}{2} * 0,13$	2
$\frac{FK_{max}}{2} * 0,13$	$< \epsilon \leq \frac{FK_{max}}{2} * 0,18$	3
$\frac{FK_{max}}{2} * 0,18$	$< \epsilon \leq \frac{FK_{max}}{2} * 0,24$	4
$\frac{FK_{max}}{2} * 0,24$	$< \epsilon \leq \frac{FK_{max}}{2} * 0,32$	5
$\frac{FK_{max}}{2} * 0,32$	$< \epsilon \leq \frac{FK_{max}}{2} * 0,42$	6
$\frac{FK_{max}}{2} * 0,42$	$< \epsilon \leq \frac{FK_{max}}{2} * 0,56$	7
$\frac{FK_{max}}{2} * 0,56$	$< \epsilon \leq \frac{FK_{max}}{2} * 0,75$	8
$\frac{FK_{max}}{2} * 0,75$	$< \epsilon \leq \frac{FK_{max}}{2}$	9
$\frac{FK_{max}}{2}$	$< \epsilon$	10

Tabelle 5.2 – Durchmesser des Fertigungskostenkreises

5.4.2 Stückzahl

Um die gefertigte Stückzahl einem Kreisdurchmesser zuordnen zu können, erfolgt wie bei den Fertigungskosten eine Einteilung in zehn Klassen.

Fertigungsautomatisierung zielt im Allgemeinen mehr auf Produkte höherer Stückzahl, als auf Produkte mit hohen Fertigungskosten ab. Das lässt sich dadurch erklären, dass die Investitionskosten für Handhabungsmaschinen, geringer als die Investitionskosten für Maschinen mit höherem Automatisierungsgrad sind. Die Amortisationszeit der Investition in eine Handhabungsmaschine sinkt direkt proportional zu steigender Stückzahl. Daher hat die Stückzahl eine höhere Bedeutung für die Automatisierung als die Fertigungskosten. Aus diesem Grund wird der Stückzahlkreisdurchmesser gegenüber dem Fertigungskostenkreisdurchmesser, durch einen Gewichtungsfaktor vergrößert. An der Ermittlung der Größe dieses Faktors wird am IFT der TU Wien gearbeitet. Für diese Arbeit wird der Gewichtungsfaktor über den Vergleich der Anschaffungskosten von Maschinen und Handhabungsgeräten im Bereich Drehen und Fräsen abgeschätzt.

<b>Durchschnittliche Anschaffungskosten Werkzeugmaschine</b>	<b>Durchschnittliche Anschaffungskosten Handhabungsmaschine</b>
Drehmaschine: 150.000 €	Stangenlader: 30.000 €
Fräsmaschine: 200.000 €	Industrieroboter: 50.000 €
	Portallader: 100.000 €
Mittelwert: 175.000 €	Mittelwert: 60.000 €

*Tabelle 5.3 – Vergleich der durchschnittlichen Anschaffungskosten zwischen Werkzeug- und Handhabungsmaschine*

Der Mittelwert der durchschnittlichen Anschaffungskosten von Werkzeugmaschine und Handhabungsmaschine unterscheidet sich um einen Faktor von 2,9. Dieser Wert wird als Gewichtungsfaktor des Stückzahlkreisdurchmessers festgelegt. Der Stückzahlkreisdurchmesser einer Klasse ergibt sich aus der Multiplikation der jeweiligen Klassenzahl mit dem Gewichtungsfaktor nach Formel 5.2.

## 5. Entscheidungsmethodik

$$\text{Stückzahlkreisdurchmesser} = \text{Klasse} * \text{Gewichtungsfaktor} \quad (5.2)$$

Die Klassengrenzen werden analog zu den Fertigungskosten gebildet. Das in höchster Stückzahl gefertigte Produkt muss ermittelt werden. Die monatlich gefertigte Stückzahl dieses Produktes wird als  $n_{max}$  bezeichnet.  $n_{max} / 2$  legt die Obergrenze der Klasse 9 fest. Von diesem Wert ausgehend werden über eine Normzahlenreihe R8 die Obergrenzen der Bereiche 1 – 8, definiert. Die Normzahlenreihe R8 ist in Tabelle 5.1 dargestellt. Das Bildungsgesetz der Klasseneinteilung, sowie die daraus resultierenden Kreisdurchmesser zeigt Tabelle 5.4.

Stückzahl / Monat		Kreisdurchmesser	Klasse
0	$< n \leq \frac{n_{max}}{2} * 0,10$	2,9	1
$\frac{n_{max}}{2} * 0,10$	$< n \leq \frac{n_{max}}{2} * 0,13$	5,8	2
$\frac{n_{max}}{2} * 0,13$	$< n \leq \frac{n_{max}}{2} * 0,18$	8,7	3
$\frac{n_{max}}{2} * 0,18$	$< n \leq \frac{n_{max}}{2} * 0,24$	11,6	4
$\frac{n_{max}}{2} * 0,24$	$< n \leq \frac{n_{max}}{2} * 0,32$	14,5	5
$\frac{n_{max}}{2} * 0,32$	$< n \leq \frac{n_{max}}{2} * 0,42$	17,4	6
$\frac{n_{max}}{2} * 0,42$	$< n \leq \frac{n_{max}}{2} * 0,56$	20,3	7
$\frac{n_{max}}{2} * 0,56$	$< n \leq \frac{n_{max}}{2} * 0,75$	23,2	8
$\frac{n_{max}}{2} * 0,75$	$< n \leq \frac{n_{max}}{2}$	26,1	9
$\frac{n_{max}}{2}$	$< n$	29	10

Tabelle 5.4 – Durchmesser des Stückzahlkreises

### 5.4.3 Automatisierungskompetenz

Der Abstand der beiden Kreismittelpunkte wird durch die Automatisierungskompetenz des Betriebes festgelegt. Mit steigender Automatisierungskompetenz des Betriebes verringert sich der Abstand der Kreismittelpunkte. Allgemein lässt sich die Automatisierungskompetenz wie folgt darstellen:

$$A = f(\text{ROI}, \text{Technologiekompetenz}, \text{Prozesskettenlänge})$$

Die Automatisierungskompetenz ist also eine Funktion des geforderten ROI, der Technologiekompetenz, und der Prozesskettenlänge.

- ROI

Der vom Betrieb für Investitionen geforderte ROI hat maßgeblichen Einfluss auf die Automatisierungskompetenz. Je kürzer der ROI einer Investition ist, desto rentabler ist diese. Die Forderung nach einem kurzen ROI verschiebt die Kreismittelpunkte zueinander. Fordert ein Betrieb für Investitionen einen kurzen ROI von z.B. einem Jahr, müssen die Kreisdurchmesser also dementsprechend groß sein, um trotzdem noch eine gemeinsame Schnittfläche zu bilden. Die Forderung nur Projekte mit einem sehr kurzen ROI zu realisieren, kann auch als Risikoscheue verstanden werden.

- Technologiekompetenz

In die Technologiekompetenz fließt das Know-How ein, das der jeweilige Betrieb hinsichtlich Fertigungsautomatisierung besitzt. Hat ein Betrieb bereits viele innovative Automatisierungslösungen erfolgreich verwirklicht, so hat dieser Betrieb eine hohe Technologiekompetenz. Dieser Betrieb wird auch für schwer zu automatisierende Prozesse eher wirtschaftlich sinnvolle Lösungen finden. Daher verschiebt steigende Technologiekompetenz die Kreismittelpunkte zueinander. Wachsende Technologiekompetenz bedeutet somit steigende Automatisierungskompetenz. Desweiteren beeinflussen die im Betrieb angewandten Fertigungstechnologien die Technologiekompetenz. Sind dies hauptsächlich leicht zu automatisierende Fertigungstechnologien, verkleinert sich der Abstand der Kreismittelpunkte.

- Prozesskettenlänge

Komplexe Produkte mit langen Prozessketten erschweren wirtschaftlich sinnvolle Fertigungsautomatisierung. Somit sinkt die Automatisierungskompetenz mit steigender Prozesskettenlänge und der Abstand der beiden Kreismittelpunkte vergrößert sich.

Die Automatisierungskompetenz ist eine komplexe Funktion. Am IFT der TU Wien wird an der Erforschung dieser Funktion gearbeitet. Im Rahmen dieser Arbeit wird in Kapitel 6 eine Methode vorgestellt, die es erlaubt die Automatisierungskompetenz eines Betriebes abzuschätzen.

Wie bereits erwähnt, wird die Technologiekompetenz von der Automatisierungstauglichkeit der angewandten Fertigungstechnologien beeinflusst. Im Rahmen einer Expertenrunde am IFT der TU Wien wurde eine Bewertung des Automatisierungspotentials verschiedener Fertigungstechnologien durchgeführt. Die Systemgrenze der Betrachtung einer Fertigungstechnologie reicht dabei vom Rohteil bzw. Zwischenprodukt vor dem Fertigungsschritt bis zum aus der Maschine entnommenen Produkt. Auf Basis einer Statistik des VDW über die Werkzeugmaschinenproduktion in der Bundesrepublik Deutschland des Jahres 2010 [33] wird eine Auswahl der wichtigsten Fertigungstechnologien getroffen. Einige Fügeverfahren erweitern diese Auswahl. Aufgrund der großen fertigungstechnischen Unterschiede innerhalb des Fügeverfahrens Schweißen, werden die gebräuchlichsten Schweißverfahren einzeln betrachtet. Die Bewertung erfolgt in neun Kategorien, wobei 1 = sehr schlecht automatisierbar und 9 = sehr gut automatisierbar bedeutet. In den Überlegungen der Expertenrunde finden folgende Kriterien Berücksichtigung:

- Maschinenzugänglichkeit für Be- und Entladeoperationen

Für die automatisierte Handhabung der Werkstücke sind gut zugängliche Maschinen von Vorteil. Als Beispiele dienen Sägeanlagen, die im Allgemeinen gut zugänglich sind und Fräsmaschinen die im Allgemeinen schwieriger zugänglich sind.

- Werkzeugabnutzung

Abnutzung des Werkzeuges muss bei der Fertigung berücksichtigt werden. So führt zum Beispiel beim Fräsen fortschreitende

Abnützung des Fräswerkzeuges zu größerer Maßungenaugigkeit. Dem kann durch automatische, regelmäßige Vermessung des Werkzeuges samt Bahnkorrektur entgegengewirkt werden. Auch zu berücksichtigen ist, dass jedes automatische Werkzeugwechselsystem nur eine begrenzte Anzahl an Werkzeugen aufnehmen kann und auch gewartet werden muss. Mit Werkzeugabnutzung behaftete Fertigungstechnologien sind somit ungünstiger zu automatisieren. Beispielhaft sei hier die Technologie Fräsen angeführt bei der Werkzeugabnutzung auftritt, sowie im Gegensatz dazu das Laserschneiden bei der keine „Abnutzung“ am Laserstrahl auftritt.

- Möglichkeit zum automatisierten Werkzeugwechsel

Ein wesentlicher Bestandteil automatisierter Fertigung ist der automatische Werkzeugwechsel. Ist dieser nicht oder nur mit großem Aufwand möglich, sinkt das Automatisierungspotential der Fertigungstechnologie. Zum Beispiel ist beim Biegen automatischer Werkzeugwechsel schwer möglich, während beim Drehen automatischer Werkzeugwechsel ohne Probleme in verschiedenen Ausführungen möglich ist.

- Summe an benötigten Werkzeugen

Sind im Allgemeinen mehr verschiedene Werkzeuge für die Fertigung eines Werkstückes notwendig, erhöht sich der Aufwand für die automatisierte Fertigung. Man kann dies auch als „Universalität“ der Werkzeuge bezeichnen. Während zum Beispiel beim Stanzen jede Kontur ein dementsprechendes Werkzeug erfordert, kann beim Wasserstrahlschneiden jede Kontur mit dem gleichen Werkzeug (Wasserstrahl) gefertigt werden.

- Werkstückeinspannung und Positionieraufwand

Berücksichtigt werden die Möglichkeit und der Aufwand für das automatische Spannen des Werkstückes. Hier ist zu berücksichtigen, welche Möglichkeiten der Werkstückeinspannung die betrachtete Fertigungstechnologie bieten, welche Positioniergenauigkeit dafür erforderlich ist und ob dafür spezielle Vorrichtungen notwendig werden.

- Fehler- und Störanfälligkeit

Anlagenstörungen müssen manuell durch einen Mitarbeiter der Instandhaltung oder Maschinenbediener behoben werden. Fehler- und Störanfälligkeit von Systemen wirkt sich daher negativ auf das Automatisierungspotential einer Fertigungstechnologie aus. Zum Beispiel ist die automatische Zuführung und Vereinzeln von Schrauben, durch die Gefahr des Verhakens ein sehr störungsanfälliger Prozess.

- Prozesszeit der Bearbeitung

Bei der Fertigungsautomatisierung ist das wesentlichste Zeit- und Kosteneinsparungspotential in der Werkstückhandhabung bzw. Werkstückwechsel und Werkzeugwechsel zu sehen. Mit zunehmender Prozesszeit des eigentlichen Bearbeitungsprozesses sinkt der Anteil des Einsparungspotentials. Somit besitzen Fertigungstechnologien, die prozessbedingt im Allgemeinen lange Prozesszeiten erfordern, geringeres Automatisierungspotential. Als Beispiel einer Fertigungstechnologie, die lange Prozesszeiten erfordert, dient das Erodieren.

- Anwendungshäufigkeit und somit das Vorhandensein von Standardlösungen

Ist die Automatisierung einer Fertigungstechnologie verbreitet, ist diese Lösung höchstwahrscheinlich technisch ausgereifter als die automatisierte Lösung einer Fertigungstechnologie, die noch nicht zum Stand der Technik zählt. Außerdem sinkt der Aufwand an Planung und Installation durch das Vorhandensein von Standardlösungen.

Das Ergebnis der Expertenrunde ist in Tabelle 5.5 dargestellt.

## 5. Entscheidungsmethodik

<b>Automatisierungspotential</b>	<b>Fertigungstechnologie</b>
1	Elektrodenschweißen Schrauben
2	Erodieren
3	Nieten Schleifen mit rotierendem Werkzeug Tieflochbohren UP Schweißen
4	Biegen
5	Bohren Bolzenschweißen mit Hubzündung Fräsen Räumen Reibrührschweißen Widerstandsschweißen
6	Drehen Stanzen
7	Kleben Laserschweißen Spritzgießen Wasserstrahlschneiden WIG Schweißen
8	Sägen
9	Bolzenschweißen mit Spitzenzündung Laserschneiden MIG/MAG Schweißen MIG/CMT Löten Plasmaschneiden

*Tabelle 5.5 – Bewertung des Automatisierungspotentials ausgewählter Fertigungstechnologien*

### 5.4.4 Vorgehensweise

Jedes Produkt durchläuft das in Abbildung 5.8 dargestellte Flussdiagramm. Entsteht nach dem Auftragen der beiden Kreise keine Schnittfläche, ist für dieses Produkt Fertigungsautomatisierung nicht sinnvoll und es erfolgt keine

## 5. Entscheidungsmethodik

---

weitere Betrachtung mehr. Alle in Phase III betrachteten Produkte werden nach der Größe der Schnittfläche gereiht. Diese sagt noch nichts über die absolute Sinnhaftigkeit von Fertigungsautomatisierung aus.

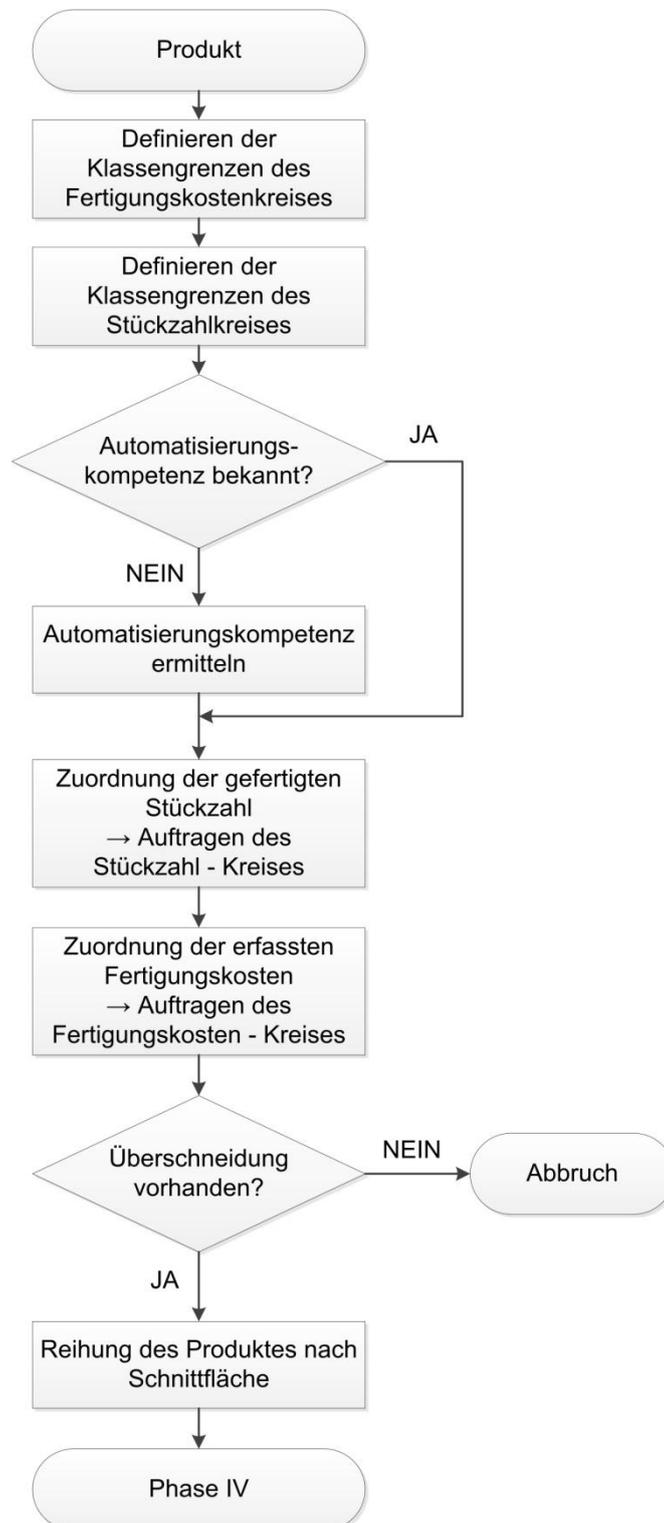


Abbildung 5.8 – Vorgehensweise in Phase III

### 5.4.5 Durchführung und Entscheidungskompetenz

Phase III wird entweder vom Produktionsleiter, den betroffenen Produktlinienmanagern oder von einer zu diesem Zweck gebildeten Arbeitsgruppe durchgeführt. Für die Frage nach Anpassung von Fertigungstechnologien muss entweder ein Vertreter der Produktion oder der Konstruktion, der fundiertes Wissen im Bereich Fertigung besitzt, involviert sein. Die in dieser Phase benötigten Daten, das sind Stückzahlen, Fertigungskosten und Fertigungsabläufe der eigengefertigten Produkte, werden in modernen Betrieben direkt aus dem ERP - System entnommen.

### 5.5 Phase IV: Vergleich der Fertigungskosten

Der im Folgenden verwendete Begriff der Fertigungskosten ist in Abschnitt 2.3 näher erläutert. In Phase IV werden die derzeitigen Fertigungskosten eines Produktes mit den entstehenden Fertigungskosten nach einer möglichen Investition verglichen. Abbildung 5.9 stellt die Fertigung vor und nach einer möglichen Investition dar. Die Investitionskosten gehen hierbei als kalkulatorische Abschreibung in die Rechnung ein. Unter Abschreibung versteht man den planmäßigen Wertverzehr an Anlagevermögen. Aufgabe der kalkulatorischen Abschreibung ist es, für jede Abrechnungsperiode den verursachungsgerechten Werteverzehr zu ermitteln. Es gibt verschiedene Abschreibungsmethoden. [33] In dieser Arbeit wird ausschließlich die Methode der linearen Abschreibung verwendet. Anstelle der linearen Abschreibung kann jedoch auch eine andere Methode verwendet werden.

Die lineare Abschreibung folgt folgender Formel: [34]

$$a = \frac{A}{n} \quad (5.5)$$

mit            A        Anschaffungskosten des Betriebsmittels  
                  n        geschätzte Nutzungsdauer in Monaten  
                  a        monatlicher Abschreibungsbetrag

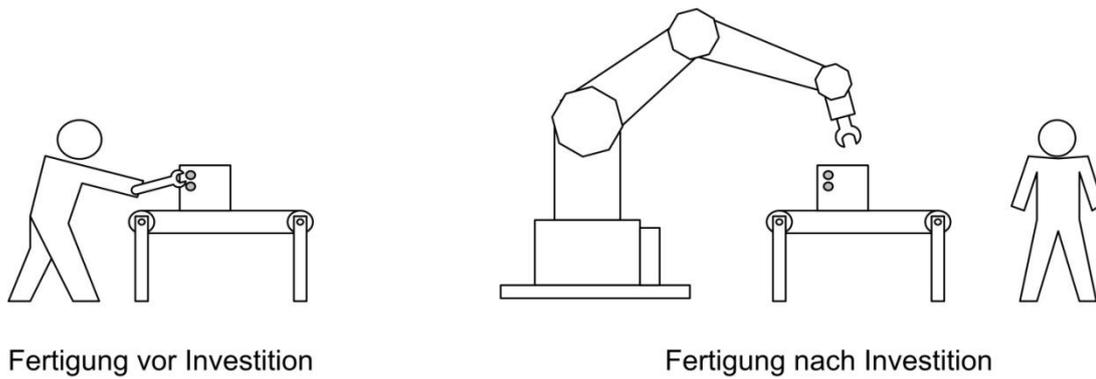


Abbildung 5.9 – Darstellung der Phase IV

### 5.5.1 Vorgehensweise

Den Ablauf für Phase IV stellt das Flussdiagramm in Abbildung 5.10 dar. Zunächst wird festgelegt, wie viele Produkte aus Phase IV in Phase V einer genauen Investitionsrechnung unterzogen werden. Im nächsten Schritt sind die in Phase IV betrachteten Produkte durch jene zu ergänzen, die in Phase I auf die Liste „Sonderbetrachtung“ gesetzt wurden. Für diese Produkte der Sonderbetrachtung zeigt Phase IV, wie sich die Fertigungskosten durch eine Erhöhung des Automatisierungsgrades aus nicht monetären Gründen, verändern. Das heißt, die Methodik gibt für alle Produkte der Sonderbetrachtung Aufschluss darüber, um welchen Betrag die Fertigungskosten durch Automatisierung steigen oder sinken.

Danach muss für jedes Produkt eine automatisierte Lösung erarbeitet werden. Eine Lösung beinhaltet zumindest folgende Punkte:

- Benötigte Fertigungsanlagen bzw. Anlagenerweiterungen
- Benötigte Handhabungsgeräte
- Nutzungsdauer der Investition
- Sondereinzelkosten der Fertigung
- Benötigtes Bedienpersonal nach Investition
- Fertigungsablauf
- Werkzeugkosten

## 5. Entscheidungsmethodik

---

Es ist auch möglich, für ein Produkt verschiedene Varianten der Automatisierung zu überprüfen. So kann es zum Beispiel Sinn machen, für ein Produkt sowohl eine teilautomatisierte Lösung, die nur die Werkstückhandhabung beinhaltet, als auch eine vollautomatisierte Lösung zu betrachten. Im Fall der Überprüfung von mehreren Lösungen eines Produktes sind Produktvarianten zu bilden. Aus einem Produkt wird je Automatisierungslösung eine Produktvariante gebildet. Dabei wird die Bezeichnung der ersten Produktvariante durch die Produktbezeichnung erweitert durch „-VI“ gebildet. Die Bezeichnung der zweiten Produktvariante erhält den Zusatz „-VII“ usw.

Im nächsten Schritt werden die derzeitigen Fertigungskosten des Produktes bzw. der Produktvarianten mit den kalkulierten Fertigungskosten nach der Investition verglichen. Wichtig ist, dass die Kosten aller notwendigen Investitionen in den kalkulierten Fertigungskosten als Abschreibungen berücksichtigt sind.

Für die Endreihung Phase IV werden die kalkulierten Fertigungskosten bezogen auf die derzeitigen Fertigungskosten herangezogen.

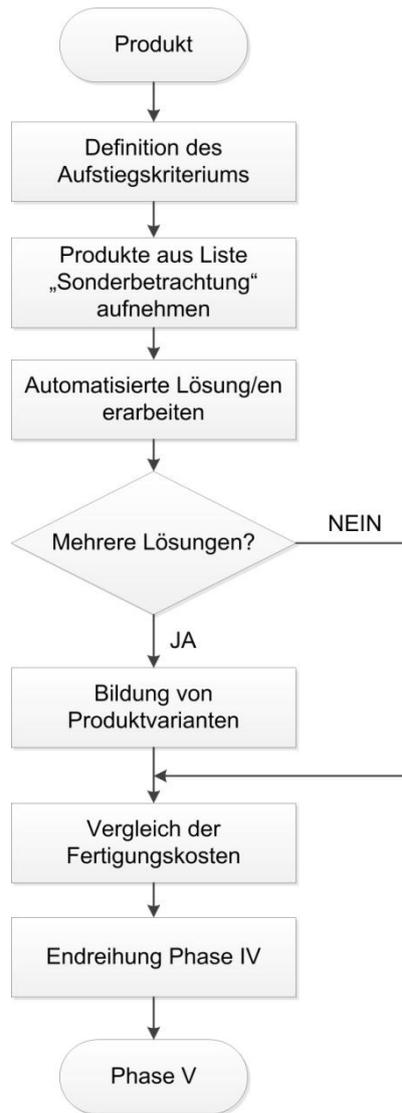


Abbildung 5.10 – Ablauf in Phase IV

### 5.5.2 Durchführung und Entscheidungskompetenz

Wie bereits Phase III wird Phase IV entweder vom Produktionsleiter, den betroffenen Produktlinienmanagern oder von einer zu diesem Zweck gebildeten Arbeitsgruppe durchgeführt. Verfügt zumindest eine der beteiligten Personen über genügend Erfahrung und Wissen im Bereich Fertigungsautomatisierung, ist die Entwicklung von Lösungen zur Fertigungsautomatisierung von dieser Person durchzuführen. Wird Erfahrung und Wissen der involvierten Personen als zu gering eingestuft, ist zusätzlich ein Spezialist für den Bereich Fertigungsautomatisierung heranzuziehen.

## 5. Entscheidungsmethodik

---

### 5.5.3 Beispiel 2: Mehrere Automatisierungslösungen eines Produktes

Dieses Beispiel soll die Durchführung der Phase IV unter Berücksichtigung mehrerer Automatisierungsalternativen veranschaulichen. In Beispiel 2 gelangen sieben Produkte in Phase IV. Bei der Entwicklung von Lösungen zur Fertigungsautomatisierung ergeben sich für „Produkt B“ und „Produkt A-TII“ jeweils zwei aussichtsreiche Alternativen zur Erhöhung des Automatisierungsgrades. Daher werden durch die Bildung von Produktvarianten jeweils beide Alternativen berücksichtigt. Tabelle 5.6 zeigt den Vergleich der Fertigungskosten für Beispiel 2.

<b>Produkt</b>	<b>FK vor Investition</b>	<b>FK nach Investition</b>	<b><math>\frac{\text{FK nach Investition}}{\text{FK vor Investition}}</math></b>
Produkt B-VI	53 €	41 €	77 %
Produkt A-TII-VII	13 €	11 €	84%
Produkt A	24 €	23 €	95 %
Produkt F	27 €	26 €	96 %
Produkt C	20 €	20 €	100 %
Produkt A-TII-VI	13 €	16 €	123 %
Produkt A-TI	7 €	9 €	129 %
Produkt B-VII	38 €	49 €	129 %
Produkt L	69 €	107 €	155 %

*Tabelle 5.6 – Vergleich der Fertigungskosten für Beispiel 2*

Abbildung 5.11 gibt einen Überblick über das Phasenmodell in Beispiel 2.

## 5. Entscheidungsmethodik

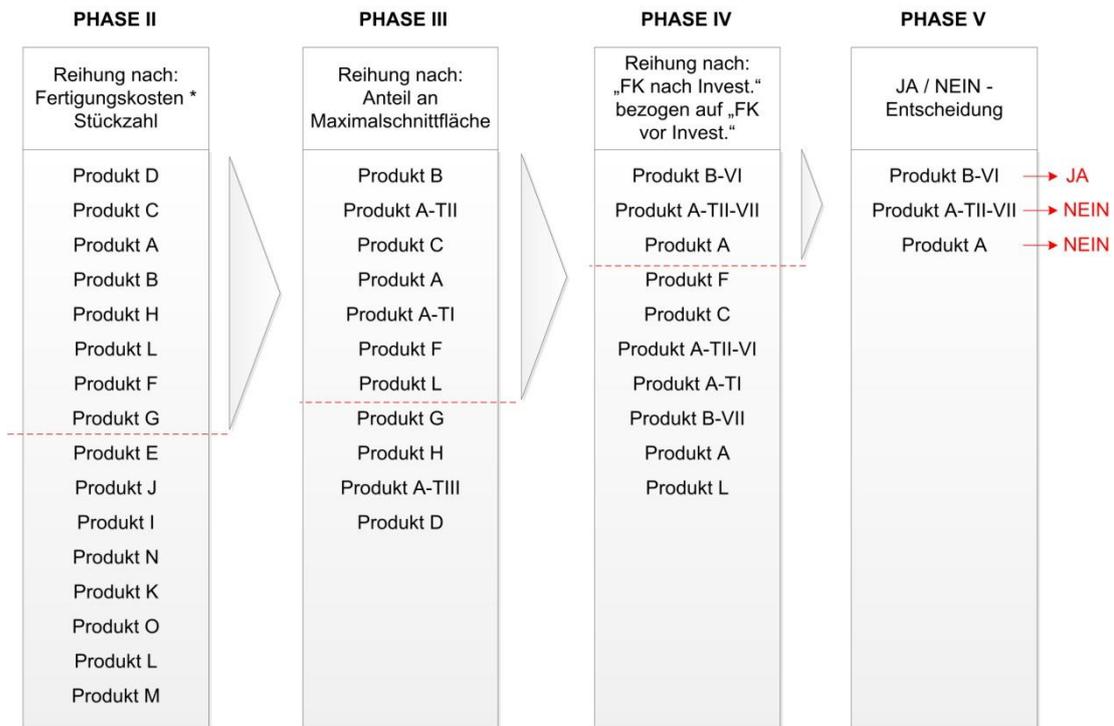


Abbildung 5.11 – Phasenmodell für Beispiel 2

### 5.6 Phase V: Investitionsrechnung

Alle Produkte die entsprechend dem in Phase IV definiertem Kriterium in Phase V gelangen, sollen einer vollständigen Investitionsrechnung unterzogen werden. Als Ergebnis aus Phase V geht für jedes darin untersuchte Produkt eine positive oder negative Investitionsentscheidung hervor.

#### 5.6.1 Vorgehensweise

Welches Verfahren der Investitionsrechnung angewandt wird, bleibt dem Anwender der Methodik überlassen. Empfohlen wird jedoch eines der in Abbildung 2.4 in Kapitel 2.4 gezeigten dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung. Durch das Durchlaufen der vorherigen vier Phasen werden nur Produkte der Investitionsrechnung unterzogen, in denen alle bisherigen Kriterien auf eine positive Investitionsentscheidung hindeuten. Da es auf diesem Gebiet eine Vielzahl an Fachliteratur gibt, sei zur Durchführung auf Kapitel 2.4 sowie auf [13] und [14], die eine gute Hilfestellung zur Durchführung geben, verwiesen.

### 5.6.2 *Durchführung und Entscheidungskompetenz*

Um den Aufwand in Grenzen zu halten und die richtige Anwendung des gewählten Verfahrens zu garantieren, sollte die Investitionsrechnung von einer oder mehreren Personen durchgeführt werden, die auf diesen Bereich spezialisiert sind bzw. genügend Erfahrung darin haben. Sollten Personen in Frage kommen, die bereits bei der bisherigen Durchführung der Entscheidungsmethodik involviert waren, so sind diese unbedingt vorzuziehen, da sie bereits mit dem Thema vertraut sind.

# 6 Überprüfung der Entscheidungsmethodik

In diesem Kapitel soll die entwickelte Entscheidungsmethodik mit realen Daten getestet werden. Dies geschieht durch zwei Beispiele eines Herstellers von Schienenfahrzeugen und eines Herstellers von Bauteilen für medizinische Prothesen. Aufgrund von Geheimhaltungsklauseln werden die Daten und somit auch die Beispiele anonymisiert behandelt. Die Daten basieren jedoch auf produzierten Bauteilen.

## 6.1 Produktion von Frästeilen im Bereich Schienenfahrzeugbau

Die Fertigung von Frästeilen eines großen Herstellers von Schienenfahrzeugen soll hinsichtlich Automatisierungspotential geprüft werden. Die zu überprüfende Fertigung ist durch den Hersteller bereits vorgegeben und umfasst vier Produkte, die in branchenüblichen Stückzahlen hergestellt werden. Ebendiese Produkte durchlaufen im Folgenden die entwickelte Entscheidungsmethodik.

### 6.1.1 Phase I

Zur Bearbeitung von Phase I wird das in Abbildung 5.4 dargestellte Flussdiagramm durchlaufen.

#### a. Definition der Produkte

Laut den Vorgaben des Herstellers werden folgende Produkte für die Untersuchung definiert:

- Lagergehäuse
- Lagerplatte
- Federplatte
- Dämpferkonsole

Diese Produktbezeichnungen werden in weiterer Folge beibehalten.

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

- b. *Sind alle trivialen Möglichkeiten zur Produktionsoptimierung ausgeschöpft?*

Eine Optimierung der Zerspanungsparameter wurde bereits durchgeführt. Ansonsten werden keine weiteren trivialen Möglichkeiten zur Produktionsoptimierung gesehen. Unter trivialen Möglichkeiten versteht man in diesem Zusammenhang Maßnahmen die keine größeren Investitionen erfordern.

- c. *Gibt es Arbeitsplätze an denen Fertigungsautomatisierung aus gesundheitlichen Aspekten sinnvoll oder notwendig ist?*

Die betrachteten Bauteile werden mittels Fräsen von Stahl hergestellt. Bei der Zerspanung von Stahl ist keine gesundheitliche Belastung, wie etwa Feinstaub, zu erwarten. Generell sind keine gesundheitlichen Aspekte, die für eine Erhöhung des Automatisierungsgrades sprechen, vorhanden.

- d. *Besteht Mangel an Facharbeitskräften?*

In nächster Zeit ist in der betrachteten Region mit keinem Mangel an Frästechnikern zu rechnen.

- e. *Treten in Zukunft neue Normen und Richtlinien in Kraft?*

In dem betrachteten Bereich ist mit keinen neuen Normen oder Maschinenrichtlinien zu rechnen.

- f. *Sind die Fertigungstechnologien von heute auch die von morgen?*

Sofern aus heutiger Sicht zu beurteilen ist, wird die Fertigungstechnologie „Fräsen“ auch in einigen Jahren zum Stand der Technik gehören und die wirtschaftliche Fertigung von Produkten erlauben.

- g. *Gibt es Produkte, die in höherer Stückzahl abgesetzt werden könnten?*

Gefertigt wird nach Kundenauftrag, was zu schwankenden Jahresstückzahlen führt. Daher ist eine genaue Prognose des zukünftigen Absatzes schwer möglich. Zur Zeit ist mit keiner erhöhten Nachfrage am Endprodukt „Schienenfahrzeug“ zu rechnen und daher auch mit keinem erhöhten Bedarf an Bauteilen für dieses.

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

### 6.1.2 Phase II

Durch die Vorgaben des Herstellers ist die Auswahl der zu automatisierenden Produktion bereits vorgegeben. Der Vollständigkeit halber wird diese Phase jedoch trotzdem durchgeführt. Dazu wird das in Abbildung 5.5 dargestellte Flussdiagramm durchlaufen.

Zunächst wird definiert, wie viele Produkte aus Phase II auch in Phase III betrachtet werden sollen. Hier ist die Zahl der Produkte durch die Vorgaben des Herstellers mit vier vorgegeben. Danach werden die benötigten Daten erhoben, diese sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

<b>Produkt</b>	<b>Stückzahl / Monat</b>	<b>FK / Stück</b>
Lagergehäuse	8	405 €
Lagerplatte	8	528 €
Federplatte	6	1360 €
Dämpferkonsole	25	155 €

*Tabelle 6.1 – Erhebung der Produktdaten in Phase II*

Die Produkte werden nach „Fertigungskosten \* Stückzahl“ gereiht. Die Reihung ist in Tabelle 6.2 ersichtlich.

<b>Rang</b>	<b>Produkt</b>	<b>Fertigungskosten * Stückzahl</b>
1	Federplatte	8160 €
2	Dämpferkonsole	3875 €
3	Lagerplatte	4224 €
4	Lagergehäuse	3240 €

*Tabelle 6.2 – Reihung nach Fertigungskosten \* Stückzahl*

Die Frage, ob die Stückzahl eines Teiles vergrößerbar ist, wird mit einem „Ja“ beantwortet. Produziert werden vier verschiedene Fahrzeugtypen, welche alle die vier betrachteten Produkte in sehr ähnlicher Ausführung benötigen. Von jedem Fahrzeugtyp werden gleich viele Endprodukte hergestellt. Daher erscheint es hier mittels Variantenmanagement möglich, diese vier Bauteile zusammenzulegen und in vierfacher Stückzahl zu produzieren. Tabelle 6.3

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

gibt die derart angepassten Daten wieder. Die Stückzahl / Monat wird von der Jahresstückzahl rückgerechnet und ganzzahlig gerundet. Daher sind rundungsbedingt geringfügige Abweichungen möglich.

<b>Produkt</b>	<b>Stückzahl / Monat</b>	<b>FK / Stück</b>
Lagergehäuse	33	405 €
Lagerplatte	33	528 €
Federplatte	25	1.360 €
Dämpferkonsole	100	155 €

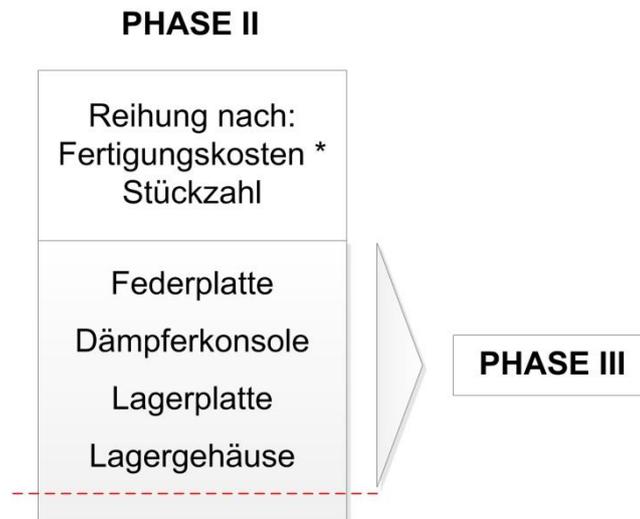
*Tabelle 6.3 – Produktdaten mit erhöhter Stückzahl in Phase II*

Die Erhöhung der Stückzahl macht eine Neuordnung nach „Fertigungskosten \* Stückzahl“ notwendig. Diese Neuordnung ist in Tabelle 6.4 dargestellt.

<b>Rang</b>	<b>Produkt</b>	<b>Fertigungskosten * Stückzahl</b>
1	Federplatte	34.000 €
2	Dämpferkonsole	15.500 €
3	Lagerplatte	17.424 €
4	Lagergehäuse	13.365 €

*Tabelle 6.4 – Neuordnung nach Fertigungskosten \* Stückzahl*

Bei keinem der vier Produkte sind die Produktionskosten durch triviale Maßnahmen reduzierbar. Es handelt sich bei allen vier Produkten um reine Frästeile, somit ist die Frage nach automatisierungsgerechter Kombination der Fertigungstechnologien mit einem „Ja“ zu beantworten. Die Frästeile sind bereits so konstruiert, dass sie für automatisierte Handhabung geeignet sind. Daher wird keine Anpassung der Konstruktion vorgenommen. Phase II wird mit der in Abbildung 6.1 dargestellten Endreihung Phase II abgeschlossen. Entsprechend des am Beginn dieser Phase festgelegten Kriteriums gelangen die vier bestgereihten Produkte in Phase III.



*Abbildung 6.1 – Endreihung Phase II*

### 6.1.3 Phase III

Um Phase III durchzuführen, wird das in Abbildung 5.8 dargestellte Flussdiagramm durchlaufen. Zunächst wird festgelegt, dass die zwei bestgereihten Produkte aus Phase III auch in Phase IV betrachtet werden. Im nächsten Schritt werden die Klassengrenzen für Fertigungskosten und Stückzahlen definiert. Die Klassengrenzen des Fertigungskostenkreisdurchmessers werden, wie in Tabelle 5.2 gezeigt, festgelegt. Nach Angaben des Herstellers betragen die höchsten Fertigungskosten eines Produktes 2.100 €. Dieser Wert wird als  $FK_{max}$  bezeichnet. Daraus ergeben sich die in Tabelle 6.5 dargestellten Klassengrenzen.

Die Klassengrenzen für die gefertigte Stückzahl werden, wie in Tabelle 5.4 dargestellt, definiert. Die maximal gefertigte Stückzahl eines Produktes innerhalb des Betriebes liegt bei 500 Stück pro Monat. Dieser Wert wird als  $n_{max}$  bezeichnet. Die sich ergebenden Klassengrenzen und Durchmesser des Stückzahlkreises sind in Tabelle 6.6 gezeigt.

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

Fertigungskosten / Stück			Kreisdurchmesser
0	< € ≤	105	1
105	< € ≤	137	2
137	< € ≤	189	3
189	< € ≤	252	4
252	< € ≤	336	5
336	< € ≤	441	6
441	< € ≤	588	7
588	< € ≤	788	8
788	< € ≤	1.050	9
1.050	< €		10

*Tabelle 6.5 – Durchmesser des Fertigungskostenkreises für einen Hersteller von Schienenfahrzeugen*

Stückzahl / Monat			Kreisdurchmesser	Klasse
0	< n ≤	25	2,9	1
25	< n ≤	33	5,8	2
33	< n ≤	45	8,7	3
45	< n ≤	60	11,6	4
60	< n ≤	80	14,5	5
80	< n ≤	105	17,4	6
105	< n ≤	140	20,3	7
140	< n ≤	188	23,2	8
188	< n ≤	250	26,1	9
250	< n		29	10

*Tabelle 6.6 – Durchmesser des Stückzahlkreises für einen Hersteller von Schienenfahrzeugen*

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

Die zu betrachtenden Produkte werden den entsprechenden Kreisdurchmessern zugeordnet. Tabelle 6.7 zeigt die Kreisdurchmesser der Produkte.

<b>Produkt</b>	<b>Fertigungskosten-Kreisdurchmesser</b>	<b>Stückzahl-Kreisdurchmesser</b>
Federplatte	10	2,9
Dämpferkonsole	3	17,4
Lagerplatte	7	5,8
Lagergehäuse	6	5,8

*Tabelle 6.7 – Fertigungskosten- und Stückzahl-Kreisdurchmesser*

Die Automatisierungskompetenz des Betriebes wird abgeschätzt. Dazu werden zwei Produkte ausgewählt. Eines, für das die Investitionsrechnung eine automatisierte Lösung als wirtschaftlich ausweist und eines, für das es keine wirtschaftliche Lösung in diesem Betrieb gibt. Ausgewählt werden die Produkte Dämpferkonsole und Federplatte. Die notwendigen Investitionsrechnungen sind in Anhang A ausgeführt. Die Investitionsrechnung ergibt für das Produkt Dämpferkonsole eine wirtschaftlich rentable Automatisierungslösung. Zunächst wird der Abstand der Kreismittelpunkte im Zwei - Kreismodell des Produktes Dämpferkonsole so gewählt, dass sich die beiden Kreise gerade berühren. Da für dieses Produkt eine wirtschaftlich rentable Automatisierungslösung existiert, muss der Abstand der Kreismittelpunkte kleiner als dargestellt sein. Der in Abbildung 6.2 aufgetragene Abstand der Kreismittelpunkte von 10,2 Einheiten stellt also die minimale Automatisierungskompetenz des Unternehmens dar.

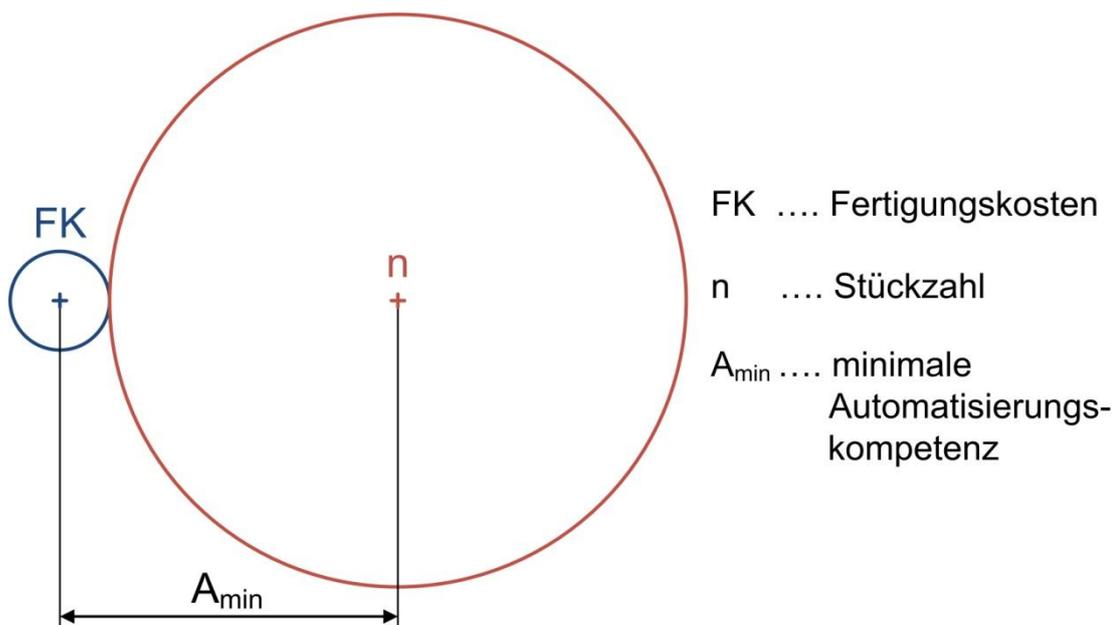


Abbildung 6.2 – Abschätzung der minimalen Automatisierungskompetenz

Die minimale Automatisierungskompetenz des Betriebes lässt sich nach folgender Formel abschätzen:

$$A_{min} = \frac{D_{FK} + D_n}{2} \quad (6.1)$$

- mit
- $A_{min}$  minimale Automatisierungskompetenz des Betriebes
  - $D_{FK}$  Durchmesser des Fertigungskostenkreises eines rentabel automatisierbaren Produktes
  - $D_n$  Durchmesser des Stückzahlkreises eines rentabel automatisierbaren Produktes

Für das Produkt Federplatte wird der Abstand der Kreismittelpunkte zunächst auch so gewählt, dass die beiden Kreise einander gerade berühren. Da die wirtschaftlich rentable Fertigungsautomatisierung für das Produkt Federplatte in diesem Unternehmen nicht möglich ist, muss der Abstand der Kreismittelpunkte größer, als der in Abbildung 6.3 aufgetragene Wert von 6,45 Einheiten sein. Die Automatisierungskompetenz des Betriebes ist

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

kleiner als dieser Wert. Daher wird dieser Abstand als maximale Automatisierungskompetenz des abgeschätzt.

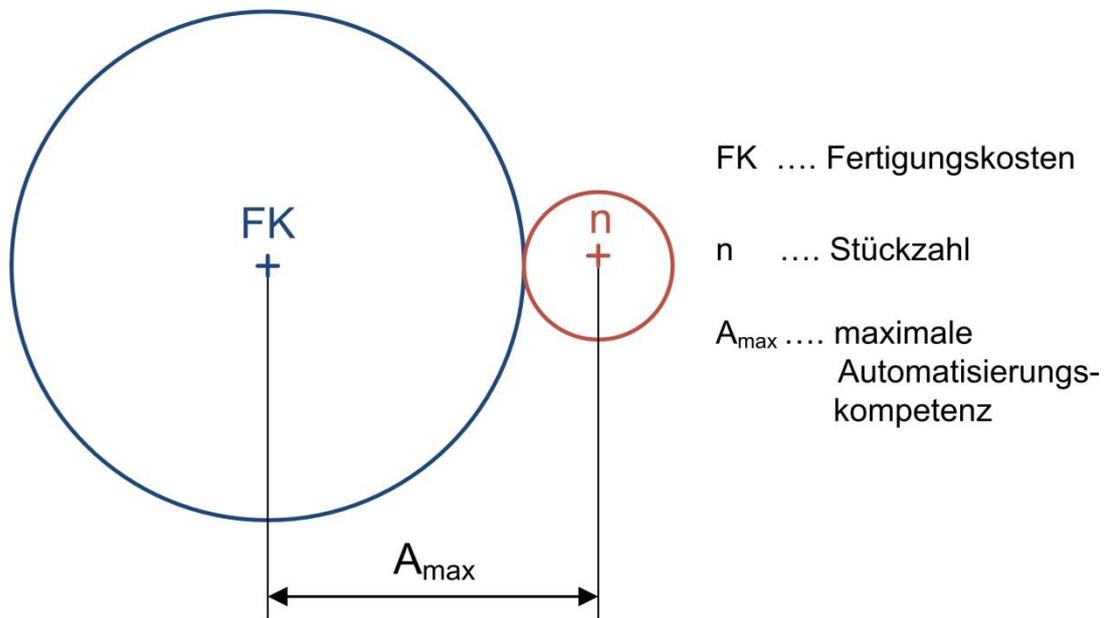


Abbildung 6.3 – Abschätzung der maximalen Automatisierungskompetenz

Die maximale Automatisierungskompetenz des Betriebes lässt sich nach folgender Formel abschätzen:

$$A_{max} = \frac{D_{FK} + D_n}{2} \quad (6.2)$$

mit  $A_{min}$  minimale Automatisierungskompetenz des Betriebes  
 $D_{FK}$  Durchmesser des Fertigungskostenkreises eines nicht rentabel automatisierbaren Produktes  
 $D_n$  Durchmesser des Stückzahlkreises eines nicht rentabel automatisierbaren Produktes

Die Automatisierungskompetenz muss also zwischen  $A_{min}$  und  $A_{max}$  liegen. Für die weitere Rechnung wird die Automatisierungskompetenz als Mittelwert

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

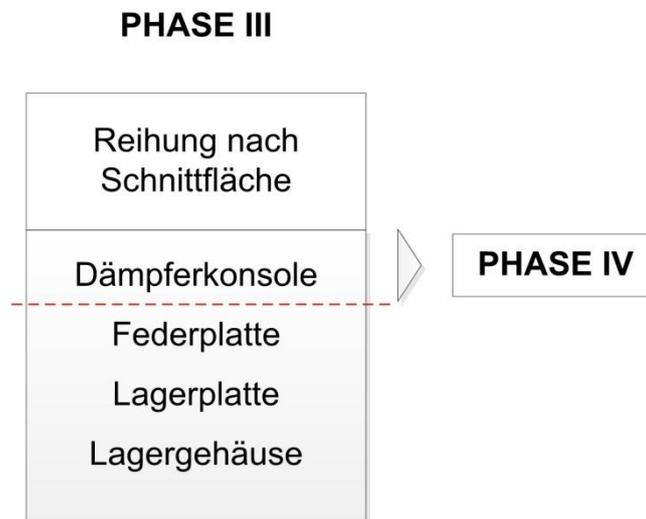
zwischen  $A_{min}$  und  $A_{max}$  abgeschätzt. Somit ergibt sich ein Wert von 8,33 Einheiten.

Daraus ergeben sich für die vier Produkte die in Tabelle 6.8 dargestellten Schnittflächen. Die Berechnung der Schnittflächen ist in Anhang C ausgeführt.

<b>Produkt</b>	<b>Schnittfläche ZKM</b>
Federplatte	keine Schnittfläche
Dämpferkonsole	3,4
Lagerplatte	keine Schnittfläche
Lagergehäuse	keine Schnittfläche

*Tabelle 6.8 – Schnittflächen von automatisierten Lösungen in Phase III*

Abbildung 6.4 zeigt die Endreihung der Phase III.



*Abbildung 6.4 – Endreihung Phase III*

### 6.1.4 Phase IV

In dieser Phase ist nur mehr das Produkt Dämpferkonsole zu betrachten. Um den Nachweis zu erbringen, dass das Produkt Federplatte, deren

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

Kreisdurchmesser gemeinsam den zweitgrößten Wert hinter denen des Produktes Federplatte hatten, zu Recht von der weiteren Betrachtung ausgenommen wurde, wird für das Produkt Federplatte dennoch der Vergleich der Fertigungskosten durchgeführt.

Entsprechend dem Flussdiagramm aus Abbildung 5.10 für Phase IV wird zunächst definiert, wie viele Produkte in Phase V einer Investitionsrechnung unterzogen werden. Folgendes Kriterium wird definiert: „Das bestgereichte Produkt soll einer Investitionsrechnung unterzogen werden.“ Im nächsten Schritt sind Lösungen für die Erhöhung des Automatisierungsgrades zu erarbeiten. Es handelt sich bei beiden Produkten um reine Frästeile, daher kommt es für beide Produkte zu ähnlichen Lösungsvorschlägen. Der Hauptunterschied ist bedingt durch das stark unterschiedliche Rohteilgewicht der Bauteile. Tabelle 6.9 gibt eine Übersicht über die Rohbauteilgewichte.

<b>Produkt</b>	<b>Gewicht</b>
Dämpferkonsole	31 kg
Federplatte	858 kg

*Tabelle 6.9 – Rohteilgewicht der Bauteile*

Als Lösung zur Erhöhung des Automatisierungsgrades wird die automatisierte Handhabung der Bauteile beim Be- und Entladen der Maschine betrachtet. Im Folgenden wird die automatisierte Lösung für das Produkt Dämpferkonsole skizziert.

### *Dämpferkonsole: Automatisierte Lösung*

Betrachtet werden soll die automatisierte Handhabung des Fertigungsprozesses. Für diese Lösung werden folgende Eckdaten ermittelt:

- Benötigte Fertigungsanlagen bzw. Anlagenerweiterungen

Für die Automatisierung des Be- und Entladeprozesses ist keine neue Fertigungsanlage bzw. Erweiterung notwendig.

- Benötigte Handhabungsgeräte

Für die Handhabung der Bauteile wird aufgrund höherer Flexibilität ein 6-Achs-Industrieroboter mit einer Tragfähigkeit von 60 kg

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

ausgewählt. Investitionskosten: 40.000 € laut Angabe eines Herstellers von Industrierobotern.

- Nutzungsdauer der Investition

Durch strategische Überlegungen ist die Produktion zumindest auf fünf Jahre gesichert. Dieser Zeitraum stellt die minimale Nutzungsdauer dar.

- Sondereinzelkosten der Fertigung

Das Werkstück wird mittels Magnetspannsystem gespannt. Dabei wird das Werkstück durch den Roboter zunächst an zwei Anschlägen in einem herkömmlichen Schraubstock gespannt um die erste Auflagefläche für das Magnetspannsystem zu bearbeiten. Danach wird das Werkstück durch den Roboter mit Hilfe zweier Anschläge im Magnetspannsystem richtig positioniert. Die Kosten für das Magnetspannsystem und die notwendigen Vorrichtungen werden nach einem Angebot mit 11.000 € kalkuliert.

- Benötigtes Bedienpersonal nach Investition

Die Be- und Entladung der Bauteile erfolgt automatisch. 5 % der dafür benötigten Zeit werden für die Überwachung und Behebung von eventuellen Störungen an Bedienzeit kalkuliert.

- Fertigungsablauf

Das Produkt Dämpferkonsole besitzt folgenden Fertigungsablauf:

- 1 Rüsten/Einrichten Rohmaterial
- 2 Schruppen erste Seite
- 3 Taschenfräsen
- 4 Taschenfräsen
- 5 Umspannen
- 6 Schruppen zweite Seite
- 7 Schlichten
- 8 Ausspannen

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

- Werkzeugkosten

Durch die Automatisierung der Handhabung tritt keine Veränderung der Werkzeugkosten auf.

Nachdem Lösungen für einen erhöhten Automatisierungsgrad erarbeitet wurden, sind die Fertigungskosten zu vergleichen. In den Abbildungen 6.5 und 6.6 sind die Aufstellung der derzeitigen Kosten sowie die Kostenkalkulationen der automatisierten Fertigung des Produktes Dämpferkonsole zu finden.

<b>Dämpferkonsole</b>			
Maschinenstunde	€	48,00	
Maschinenbediener / h	€	30,00	
		<i>Belegungszeit</i>	
<i>Arbeitsschritt</i>		<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten/Einrichten Rohmaterial		0:10:00	0:10:00
2 Schruppen erste Seite		0:31:15	0:10:25
3 Taschenfräsen		0:06:44	0:02:15
4 Taschenfräsen		0:00:29	0:00:10
5 Umspannen		0:03:00	0:03:00
6 Schruppen zweite Seite		0:48:35	0:16:12
7 Schlichten		0:00:27	0:00:09
8 Ausspannen		0:05:00	0:05:00
		1:45:30	0:47:10
	€	84,40	€ 23,58
Kosten für Fertigung	€	107,98	
Werkzeugkosten/Teil	€	46,60	
<b>Fertigungskosten für Teil</b> (Bearbeitung und Werkzeuge)	<b>€</b>	<b>154,58</b>	

Abbildung 6.5 – Derzeitige Fertigungskosten des Produktes Dämpferkonsole

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

<b>Dämpferkonsole automatisiert</b>			
Stückzahl / Monat		100	
Maschinenstunde	€	48,00	
Maschinenbediener / h	€	30,00	
<i>Handhabung</i>			
Investitionskosten	€	51.000,00	
Abschreibungsdauer Monate		60	
kalk. Abschreibung / Monat	€	850,00	
kalkulatorische Abschreibung / Stück	€	8,50	
<i>Arbeitsschritt</i>		<i>Belegungszeit</i>	
		<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten/Einrichten Rohmaterial		0:01:00	0:00:03
2 Schruppen erste Seite		0:31:15	0:10:25
3 Taschenfräsen		0:06:44	0:02:15
4 Taschenfräsen		0:00:29	0:00:10
5 Umspannen		0:00:30	0:00:02
6 Schruppen zweite Seite		0:48:35	0:16:12
7 Schlichten		0:00:27	0:00:09
8 Ausspannen		0:01:00	0:00:03
		<b>1:31:00</b>	<b>0:29:17</b>
	€	72,80	€ 13,68
Kosten für Fertigung	€	86,48	
Kosten für Fertigung und Investition	€	94,98	
Werkzeugkosten/Teil	€	46,60	
<b>Fertigungskosten für Teil</b> (Bearbeitung und Werkzeuge)	€	<b>141,58</b>	

Abbildung 6.6 – Kalkulation der Fertigungskosten der automatisierten Fertigung des Produktes Dämpferkonsole

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

Für das Produkt Federplatte sind die derzeitigen Fertigungskosten sowie die Kalkulation der automatisierten Lösung in Anhang A zu finden. In Tabelle 6.10 sind die derzeitigen Fertigungskosten sowie die Fertigungskosten nach einer Investition der betrachteten Produkte dargestellt.

<b>Produkt</b>	<b>FK vor Investition</b>	<b>FK nach Investition</b>	<b><math>\frac{\text{FK nach Investition}}{\text{FK vor Investition}}</math></b>
Dämpferkonsole	154,58 €	141,58 €	92%
Federplatte	1359,95 €	1445,34 €	106%

*Tabelle 6.10 – Vergleich der Fertigungskosten*

Aus dem Vergleich der Fertigungskosten ergibt sich die Endreihung Phase IV. Die Reihung erfolgt nach dem Quotienten aus Fertigungskosten nach Investition zu Fertigungskosten vor Investition. Das Ergebnis der Reihung ist in Abbildung 6.7 dargestellt. Entsprechend dem am Beginn der Phase definierten Kriteriums wird das bestgereimte Produkt, Dämpferkonsole in Phase V einer Investitionsrechnung unterzogen.



*Abbildung 6.7 – Endreihung Phase IV*

### 6.1.5 Phase V

Das Produkt Dämpferkonsole soll in Phase V einer vollständigen Investitionsrechnung unterzogen werden. Die Investitionsrechnung für das Produkt Dämpferkonsole ist in Anhang A zu finden. Die Investitionsrechnung ergibt für die Automatisierung der Handhabung eine jährliche Kostenersparnis von 12.000 €.

### 6.1.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Variante der automatisierten Handhabung der Dämpferkonsole wird in Phase IV als rentable Automatisierungsmaßnahmen angesehen. Der Vergleich der Fertigungskosten in Phase IV ergibt für beide Produkte und Varianten Ergebnisse zwischen 92 % und 106 %. Die Ergebnisse liegen somit relativ knapp beisammen. Je weiter das Ergebnis des Fertigungskostenvergleichs von 100 % entfernt ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Ergebnis durch die Investitionsrechnung bestätigt wird. Für das Produkt Dämpferkonsole ergibt die Investitionsrechnung eine jährliche Kostenersparnis von 12.000 €. Es sollte in die Automatisierung der Handhabung investiert werden.

## 6.2 Produktion von Bauteilen für einen Hersteller medizinischer Prothesen

Für ein Zulieferunternehmen eines Herstellers von medizinischen Prothesen soll mittels der entwickelten Entscheidungsmethodik überprüft werden, ob sich eine Automatisierung der Fertigung lohnt. Dabei sollen zwei Produkte überprüft werden, für die die notwendigen Daten vorliegen. Für die Herstellung der Bauteile werden die Technologien Sägen, Drehen und Fräsen benötigt.

### 6.2.1 Phase I

Zur Bearbeitung von Phase I wird das in Abbildung 5.4 dargestellte Flussdiagramm durchlaufen.

#### a. Definition der Produkte

Laut den Vorgaben des Herstellers sollen folgende Produkte der Entscheidungsmethodik unterzogen werden:

- DFT-130
- DFT-16

Diese Produktbezeichnungen werden in weiterer Folge beibehalten.

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

- b. *Sind alle trivialen Möglichkeiten zur Produktionsoptimierung ausgeschöpft?*

Alle trivialen Möglichkeiten zur Produktionsoptimierung sind bereits ausgeschöpft.

- c. *Gibt es Arbeitsplätze an denen Fertigungsautomatisierung aus gesundheitlichen Aspekten sinnvoll oder notwendig ist?*

Es sind keine gesundheitlichen Aspekte, die für eine Erhöhung des Automatisierungsgrades sprechen, vorhanden.

- d. *Besteht Mangel an Facharbeitskräften?*

In nächster Zeit ist in der betrachteten Region mit keinem Mangel an Facharbeitskräften zu rechnen.

- e. *Treten in Zukunft neue Normen und Richtlinien in Kraft?*

In dem betrachteten Bereich ist mit keinen neuen Normen oder Maschinenrichtlinien zu rechnen.

- f. *Sind die Fertigungstechnologien von heute auch die von morgen?*

Sofern aus heutiger Sicht zu beurteilen ist, werden die betrachteten Fertigungstechnologien Sägen, Drehen und Fräsen auch in einigen Jahren zum Stand der Technik gehören und die wirtschaftliche Fertigung von Produkten erlauben.

- g. *Gibt es Produkte, die in höherer Stückzahl abgesetzt werden könnten?*

Da es keine konkreten Vereinbarungen oder Verträge mit dem Abnehmer über höhere Stückzahlen gibt, ist diese Frage mit Nein zu beantworten.

### 6.2.2 Phase II

Beide in Phase II betrachteten Produkte sollen auch in Phase III betrachtet werden. Trotzdem in dieser Phase somit kein Produkt ausgeschlossen wird, sei diese Phase der Vollständigkeit halber ausgeführt. In Tabelle 6.11 sind die erhobenen Daten dargestellt.

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

Produkt	Stückzahl / Monat	FK / Stück
DFT-130	171	24 €
DFT-16	395	10 €

Tabelle 6.11 – Erhebung der Produktdaten in Phase II

Die Produkte werden nach „Fertigungskosten \* Stückzahl“ gereiht. Die Reihung ist in Tabelle 6.12 ersichtlich.

Rang	Produkt	Fertigungskosten * Stückzahl
1	DFT-130	4.104 €
2	DFT-16	3.950 €

Tabelle 6.12 – Reihung nach Fertigungskosten \* Stückzahl

Daraus ergibt sich die in Abbildung 6.8 dargestellte Endreihung für Phase II.

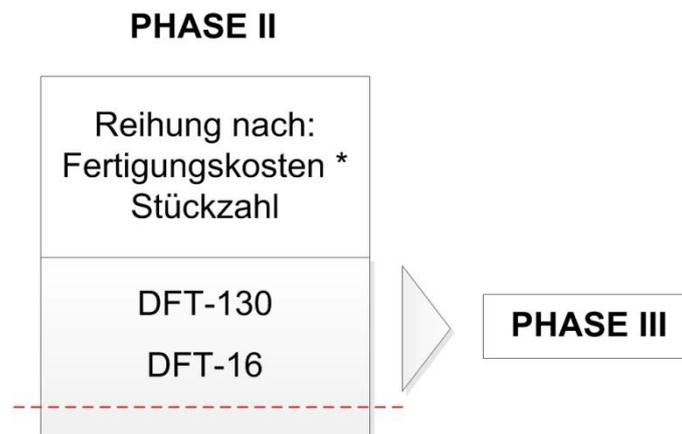


Abbildung 6.8 – Endreihung Phase II

### 6.2.3 Phase III

Phase III wird analog dem in Abbildung 5.8 dargestellten Flussdiagramm durchgeführt. Es wird festgelegt, dass die zwei bestgereihten Produkte, sofern sie eine Schnittfläche besitzen, auch in Phase IV betrachtet werden.

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

Zunächst werden die Grenzen der Klasseneinteilung von Fertigungskosten und Stückzahl, wie in Tabelle 5.2 und Tabelle 5.4 gezeigt, festgelegt. Nach Angaben des Herstellers betragen die höchsten Fertigungskosten eines Produktes 2.060 €. Die Differenz zum Beispiel des Schienenfahrzeugherstellers ist vernachlässigbar klein, sodass die gleiche Klasseneinteilung der Fertigungskosten verwendet werden kann. Diese ist in Tabelle 6.13 nochmals dargestellt.

Fertigungskosten / Stück			Kreisdurchmesser
0	< € ≤	105	1
105	< € ≤	137	2
137	< € ≤	189	3
189	< € ≤	252	4
252	< € ≤	336	5
336	< € ≤	441	6
441	< € ≤	588	7
588	< € ≤	788	8
788	< € ≤	1.050	9
1.050	< €		10

*Tabelle 6.13 – Durchmesser des Fertigungskostenkreises für einen Hersteller medizinischer Prothesen*

Die maximal gefertigte Stückzahl eines Produktes  $n_{max}$  liegt bei 2.000 Stück pro Monat. Daraus werden die Klassengrenzen des Stückzahlkreises definiert. Diese sind in Tabelle 6.14 gezeigt.

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

Stückzahl / Monat			Kreisdurchmesser	Klasse
0	$< n \leq$	100	2,9	1
100	$< n \leq$	130	5,8	2
130	$< n \leq$	180	8,7	3
180	$< n \leq$	240	11,6	4
240	$< n \leq$	320	14,5	5
320	$< n \leq$	420	17,4	6
420	$< n \leq$	560	20,3	7
560	$< n \leq$	750	23,2	8
750	$< n \leq$	1.000	26,1	9
1.000	$< n$		29	10

*Tabelle 6.14 – Durchmesser des Stückzahlkreises für einen Hersteller von medizinischen Prothesen*

Im nächsten Schritt werden Fertigungskosten und Stückzahl der Produkte den entsprechenden Kreisdurchmessern zugeordnet. Tabelle 6.15 zeigt die Kreisdurchmesser der Produkte.

Produkt	Fertigungskosten-Kreisdurchmesser	Stückzahl-Kreisdurchmesser
DFT-130	1	8,7
DFT-16	1	17,4

*Tabelle 6.15 – Fertigungskosten- und Stückzahl-Kreisdurchmesser*

Analog zur Vorgangsweise beim vorherigen Beispiel wird die Automatisierungskompetenz abgeschätzt. Für die Abschätzung der minimalen Automatisierungskompetenz wird auf ein in der Vergangenheit bereits wirtschaftlich rentabel realisiertes Automatisierungsprojekt zurück gegriffen. Das dabei gefertigte Produkt hatte vor der Automatisierung Fertigungskosten von 140 € / Stück bei einer monatlich gefertigten Stückzahl von 520. Die minimale Automatisierungskompetenz wird nach Formel 6.1 wie folgt abgeschätzt:

$$A_{min} = \frac{D_{FK} + D_n}{2} = \frac{3 + 20,3}{2} = 11,7$$

Zur Abschätzung der maximalen Automatisierungskompetenz wird das Produkt DFT-16 verwendet. Die dafür notwendige Investitionsrechnung ist in Anhang B ausgeführt und ergibt, dass eine Erhöhung des Automatisierungsgrades wirtschaftlich nicht rentabel ist. Die maximale Automatisierungskompetenz lässt sich nach Formel 6.2 abschätzen:

$$A_{max} = \frac{D_{FK} + D_n}{2} = \frac{1 + 17,4}{2} = 9,2$$

Die Automatisierungskompetenz wird als Mittelwert zwischen  $A_{min}$  und  $A_{max}$  abgeschätzt. Die so ermittelte Automatisierungskompetenz ergibt 10,5.

Tabelle 6.16 zeigt die Schnittflächen der beiden in Phase III betrachteten Produkte.

<b>Produkt</b>	<b>Schnittfläche ZKM</b>
DFT-16	keine Schnittfläche
DFT-130	keine Schnittfläche

*Tabelle 6.16 – Sinnhaftigkeit von automatisierten Lösungen in Phase III*

### 6.2.4 Phase IV

Nachdem kein Produkt in Phase IV gelangt, ist die Entscheidungsmethodik an dieser Stelle mit dem Ergebnis, dass keines der Produkte rentabel automatisiert werden kann, abzubrechen. Um dieses Ergebnis und somit auch die Entscheidungsmethodik zu bestätigen, wird das Produkt DFT-16 bis in Phase V untersucht.

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

Entsprechend dem Flussdiagramm aus Abbildung 5.10 für Phase IV wird zunächst definiert, wie viele Produkte in Phase V einer Investitionsrechnung unterzogen werden. Wie bereits festgestellt, soll dies das Produkt DFT-16 sein. Im nächsten Schritt sind Lösungen für die Erhöhung des Automatisierungsgrades zu erarbeiten. Es bieten sich die automatisierte Handhabung der Bauteile beim Be- und Entladen der Drehmaschine an. Im Folgenden wird die automatisierte Lösung des Produktes DFT-16 skizziert.

### *DFT-16: Automatisierte Lösung*

Es wird die Automatisierung der Werkstückhandhabung beim Be- und Entladeprozess des Fertigungsschrittes Drehen betrachtet. Für die Lösung werden folgende Eckdaten ermittelt:

- Benötigte Fertigungsanlagen bzw. Anlagenerweiterungen

Für den automatischen Be- und Entladeprozess werden die verwendeten CNC-Drehmaschinen um je ein Stangenladesystem erweitert. Investitionskosten: 34.000 € laut Angebot eines Herstellers.

Für die Automatisierung des Be- und Entladeprozesses ist keine neue Fertigungsanlage bzw. Erweiterung notwendig.

- Benötigte Handhabungsgeräte

Für die Automatisierung des Be- und Entladeprozesses ist kein zusätzliches Handhabungsgerät notwendig.

- Nutzungsdauer der Investition

Durch strategische Überlegungen ist die Produktion zumindest auf fünf Jahre gesichert. Dieser Zeitraum stellt die minimale Nutzungsdauer dar.

- Sondereinzelkosten der Fertigung

Es sind keine besonderen Sondereinzelkosten zu kalkulieren.

## 6. Überprüfung der Entscheidungsmethodik

---

- Benötigtes Bedienpersonal nach Investition

Die Be- und Entladung der Bauteile erfolgt automatisch. 5 % der dafür benötigten Zeit wird für die Überwachung und Behebung von eventuellen Störungen an Bedienzeit kalkuliert.

- Fertigungsablauf

Das Produkt DFT-16-TI besitzt folgenden Fertigungsablauf:

- 1 Rüsten allgemein
- 2 Rüsten Drehen I
- 3 Drehen I
- 4 Rüsten Drehen II
- 5 Drehen II

- Werkzeugkosten

Durch die Automatisierung der Handhabung tritt keine Veränderung der Werkzeugkosten auf.

Nachdem eine Lösung für einen erhöhten Automatisierungsgrad erarbeitet wurde, sind die Fertigungskosten zu vergleichen. Die Abbildungen 6.9 und 6.10 zeigen die Aufstellung der derzeitigen Fertigungskosten des Produktes DFT-16 sowie die Kostenkalkulationen der automatisierten Fertigung des Produktes DFT-16.

Tabelle 6.17 vergleicht die derzeitigen Fertigungskosten mit den Fertigungskosten nach einer Investition.

<b>Produkt</b>	<b>FK vor Investition</b>	<b>FK nach Investition</b>	<b><math>\frac{\text{FK nach Investition}}{\text{FK vor Investition}}</math></b>
DFT-16	10,0 €	10,0 €	100%

*Tabelle 6.17 – Vergleich der Fertigungskosten*

<b>DFT-16</b>		
Maschinenstunde Drehen	€	20,00
Maschinenstunde Fräsen	€	48,00
Maschinenbediener / h	€	30,00
		<i>Belegungszeit</i>
<i>Arbeitsschritt</i>	<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten	0:02:24	0:02:24
2 Rüsten Drehen I	0:00:45	0:00:45
3 Drehen I	0:01:41	0:00:34
4 Rüsten Drehen II	0:01:09	0:01:09
5 Drehen II	0:05:36	0:01:52
6 Rüsten Fräsen	0:00:30	0:00:30
7 Fräsen	0:03:00	0:01:00
	0:15:05	0:08:14
	€ 5,86	€ 4,11
<b>Fertigungskosten für Teil</b>	<b>€</b>	<b>9,98</b>

Abbildung 6.9 – Derzeitige Fertigungskosten des Produktes DFT-16

<b>DFT-16 automatisiert</b>			
Stückzahl / Monat		395	
Maschinenstunde Drehen	€	20,00	
Maschinenstunde Fräsen	€	48,00	
Maschinenbediener / h	€	30,00	
<i>Handhabung Drehen</i>			
Investitionskosten	€	34.000,00	
Abschreibungsdauer Monate		60	
kalk. Abschreibung / Monat	€	566,67	
kalkulatorische Abschreibung / Stück		1,43	
<i>Belegungszeit</i>			
<i>Arbeitsschritt</i>		<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten		0:01:12	0:01:12
2 Rüsten Drehen I		0:00:10	0:00:01
3 Drehen I		0:01:41	0:00:34
4 Rüsten Drehen II		0:01:09	0:00:03
5 Drehen II		0:05:36	0:01:52
6 Rüsten Fräsen		0:00:30	0:00:30
7 Fräsen		0:03:00	0:01:00
		<hr/>	<hr/>
		0:13:18	0:05:42
	€	5,67	€ 2,85
Kosten für Fertigung	€	8,52	
Kosten für Investition	€	1,43	
<b>Fertigungskosten für Teil</b>	<b>€</b>	<b>9,95</b>	

Abbildung 6.10 – Kalkulation der Fertigungskosten für die automatisierte Fertigung des Produktes DFT-16

### 6.2.5 Phase V

Zur Überprüfung der Entscheidungsmethodik, wird die Automatisierungslösung des Produktes DFT-16 einer Investitionsrechnung unterzogen. Die Investitionsrechnung ist in Anhang B ausgeführt. Die Investitionsrechnung ergibt einen jährlichen Verlust von 1.350 €.

### 6.2.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nachdem die Automatisierungskompetenz des Unternehmens über zwei Produkte abgeschätzt wurde, ergibt sich in Phase III für keines der beiden zu untersuchenden Produkte die Sinnhaftigkeit zur Fertigungsautomatisierung. An dieser Stelle ist die Entscheidungsmethodik abzubrechen. Um dieses Ergebnis und die Arbeit zu bestätigen, wurde das Produkt DFT-16 dennoch weiter betrachtet. Die Investitionsrechnung in Phase IV ergibt keine Rentabilität der automatisierten Fertigung des Produktes DFT-16.

# 7 Begleitende Excel Berechnungsmappe

Dieses Kapitel beschreibt die erstellte Excel Berechnungsmappe, welche die Anwendung der Entscheidungsmethodik unterstützt. Um die einfache Anwendung der Entscheidungsmethodik zu demonstrieren, wurde in den Beispielen aus Kapitel 6 bewusst auf die Unterstützung der Excel Berechnungsmappe verzichtet. Die Berechnungsmappe setzt sich aus acht Blättern zusammen:

- Phase I
- Phase II
- Phase III – mehrere Technologien
- Phase III
- Phase IV – Automatisierte Varianten
- Phase IV – Sonderbetrachtung
- Phase IV
- Phase V

Im Folgenden wird der Aufbau und die Anwendung der Blätter erklärt.

## 7.1 Excel Blatt: Phase I

In diesem Blatt werden die Vorabüberlegungen der Phase I abgehandelt. Dazu werden die definierten Produkte in die entsprechende Spalte eingegeben und für jedes Produkt die Punkte b – g aus Kapitel 5.2 beantwortet. Die Spalte „f Sonderbetrachtung erwünscht?“ bezieht sich auf die Frage ob bei einer positiven Beantwortung von Frage f das jeweilige Produkt auf jeden Fall in Phase IV betrachtet werden soll. Wird in der Spalte „f von Betrachtung ausschließen?“ ein JA ausgewählt, so wird dieses Produkt von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen und kann in den folgenden Phasen nicht mehr ausgewählt werden.

Die Eingabefelder werden automatisch farbig formatiert. Ein grünes Feld bedeutet für das jeweilige Produkt, dass die Entscheidungsmethodik im gewohnten Weg fortgesetzt wird, während rote Felder eine Abweichung vom normalen Weg der Entscheidungsmethodik anzeigen.

Abbildung 7.1 zeigt einen Ausschnitt des Excel Blattes „Phase I“.

## 7. Begleitende Excel Berechnungsmappe

	<i>a</i> Produkt	<i>b?</i>	<i>c / d / e ?</i>	<i>f</i> Sonder- betrachtung erwünscht?	<i>f</i> von Betrachtung ausschließen?	<i>g</i> Anmerkung
1	Test	NEIN	NEIN	NEIN	JA	

Abbildung 7.1 – Excel Blatt „Phase I“

### 7.2 Excel Blatt: Phase II

Zunächst müssen die in Phase II zu betrachtenden Produkte ausgewählt werden. Mittels einer automatisch generierten Liste sind nur für Phase II zulässige Produkte auswählbar. Bspw. sind Produkte, für die in Phase I eine Sonderbetrachtung gefordert wird, hier nicht auswählbar, da diese auf jeden Fall in Phase IV gelangen. Zu jedem Produkt sind die gefertigte Stückzahl pro Monat und die Fertigungskosten pro Stück in das entsprechende Feld einzugeben. Abbildung 7.2 zeigt die erforderliche Eingabe in das Excel Blatt „Phase II“ wobei die gelb markierten Felder eine Eingabe erfordern.

	Produkt	Stückzahl	FK	Stückzahl * FK
1	Test	500	€ 38,0	€ 19.000
2	Test 2	1200	€ 25,0	€ 30.000

Abbildung 7.2 – Eingabe in Excel Blatt „Phase II“

Sind alle Produkte eingegeben, erfolgt durch Drücken der Schaltfläche „Reihung Phase II durchführen“ eine automatische Reihung nach Stückzahl\*FK, welche die Endreihung Phase II darstellt. Dargestellt wird diese in Abbildung 7.3.

<b>Reihung Phase II durchführen</b>	<i>Rang</i>	<i>Produkt</i>	<i>Stückzahl*FK</i>	
	1	Test 2	€	30.000
	2	Test	€	19.000

Abbildung 7.3 – Endreihung in Excel Blatt „Phase II“

### 7.3 Excel Blatt: Phase III – mehrere Technologien

Dieses Blatt dient zur Unterstützung von Phase III. Entsteht ein Produkt aus mehreren verschiedenen Fertigungstechnologien, die im Hinblick auf Automatisierung einzeln betrachtet werden sollen, werden hier die zu bildenden Zwischenprodukte samt Stückzahl und Fertigungskosten eingetragen (vgl. Kapitel 5.4.4). Das Excel - Blatt „Phase III – mehrere Technologien“ zeigt Abbildung 7.4.

	<i>zusätzlich zu bildende Zwischenprodukte</i>	<i>Stückzahl</i>	<i>FK</i>	
1	Test-TI	500	€	38,0
2	Test-TII	500	€	38,0

Abbildung 7.4 – Excel Blatt „Phase III – mehrere Technologien“

### 7.4 Excel Blatt: Phase III

Abbildung 7.5 zeigt einen Ausschnitt des Blattes „Phase III“. Die zur Eingabe notwendigen Felder sind darin gelb markiert. In diesem Blatt sind die Produkte, die in Phase III betrachtet werden, auszuwählen. Wie schon in Phase II sind im entsprechenden Eingabefeld aus einer Liste nur dafür zulässige Produkte auswählbar. Desweiteren ist mit Hilfe von Tabelle 5.5 das Automatisierungspotential der jeweiligen Fertigungstechnologie in der Spalte „Automat. Potential“ auszuwählen. Der entsprechende Faktor der Automatisierungseignung erscheint automatisch. Entsteht das Produkt aus mehreren Fertigungstechnologien mit unterschiedlichem Automatisierungspotential, ist in der Spalte „Automat. Potential“ der Wert „Mittelung“ auszuwählen, wodurch in der Spalte  $F_A$  die gelb hinterlegte

## 7. Begleitende Excel Berechnungsmappe

Aufforderung „F<sub>A</sub> eingeben“ erscheint. Dort ist der nach Formel 5.2 gemittelte Faktor der Automatisierungseignung manuell einzutragen.

	Produkt	Stückzahl	FK	Automat. kompetenz	Stückzahl Kreisd.	FK Kreisd.	Schnittfläche
1	Test 2	1200	25	4	14,5	3	6,3
2	Test	500	38	4	5,8	3	1,1
3	Test-TI	500	38	4	5,8	3	1,1
4	Test-TII	500	38	4	5,8	3	1,1

Abbildung 7.5 – Eingabe in Excel Blatt „Phase III“

Ist die Eingabe beendet, werden die Produkte durch drücken der Schaltfläche „Reihung Phase III durchführen“ ihrer Bewertungsziffer Phase III entsprechend gereiht. Abbildung 7.6 zeigt die Reihung im Blatt „Phase III“. Die Reihung entspricht der Endreihung Phase III.

Rang	Produkt	Bewertungsziffer Phase III
1	Test 2	6,3
2	Test	1,1
3	Test-TI	1,1
4	Test-TII	1,1

Abbildung 7.6 – Endreihung in Excel Blatt „Phase III“

### 7.5 Excel Blatt: Phase IV - Automatisierungsvarianten

Sind für ein Produkt zwei oder mehr Varianten der Automatisierung denkbar sind- wie in Kapitel 5.5.1 beschrieben- Produktvarianten zu bilden. Eventuell zu bildende Produktvarianten sind hier einzutragen. Abbildung 7.7 zeigt das Blatt „Phase IV – Automatisierungsvarianten“.

	<i>zu bildende Produktvarianten</i>
1	Test 2-VI
2	Test 2-VII

Abbildung 7.7 – Excel Blatt „Phase IV – Automatisierungsvarianten“

### 7.6 Excel Blatt: Phase IV – Sonderbetrachtung

In diesem Blatt sind die Produkte einzugeben, die in Phase I zur Sonderbetrachtung ausgewählt wurden. Im Eingabefeld sind aus einer automatisch generierten Liste nur solche Produkte auswählbar, die in Phase I zur Sonderbetrachtung ausgewählt wurden. Abbildung 7.8 zeigt das Excel Blatt „Phase IV – Sonderbetrachtung“.

	<i>Produkt</i>
1	Test 3

Abbildung 7.8 – Excel Blatt „Phase IV – Sonderbetrachtung“

### 7.7 Excel Blatt: Phase IV

In der Spalte „Produkt“ sind die in Phase IV zu betrachtenden Produkte im Eingabefeld aus einer Liste auszuwählen. Diese automatisch generierte Liste enthält zusätzlich zu den in Phase III betrachteten Produkten, die in den Blättern „Phase IV – Automatisierungsvarianten“ und „Phase IV – Sonderbetrachtung“ eingegebenen Produkte. In der Spalte „FK“ sind die derzeitigen Fertigungskosten pro Stück des jeweiligen Produktes einzugeben. Die Spalte „FK nach Investition“ ist mit den Fertigungskosten pro Stück nach der Automatisierungsinvestition zu füllen. Aus den eingegebenen Daten wird das Verhältnis der derzeitigen Fertigungskosten zu den Fertigungskosten nach der Investition in Prozent gebildet. Ist dieses Verhältnis kleiner als 100 %, wird der entsprechende Bereich automatisch grün hinterlegt. Wenn das Verhältnis größer oder gleich 100 % ist, wird der Bereich rot hinterlegt. Bei einer unvollständigen Eingabe der

## 7. Begleitende Excel Berechnungsmappe

Fertigungskosten wird eine Eingabeaufforderung angezeigt. In Abbildung 7.9 ist die Eingabe in das Excel Blatt „Phase IV“ dargestellt, wobei die gelb hinterlegten Felder eine Eingabe erfordern.

	<i>Produkt</i>	<i>FK</i>	<i>FK nach Investition</i>	<i>FK n.l. / FK</i>
1	Test-TII	€ 38,00	€ 31,00	81,58%
2	Test-TI	€ 38,00	€ 37,00	97,37%
3	Test	€ 38,00	€ 35,00	92,11%
4	Test 2-VI	€ 25,00	€ 34,00	136,00%
5	Test 2-VII	€ 25,00	€ 26,00	104,00%
6	Test 3	€ 31,00		FK eingeben

Abbildung 7.9 – Eingabe in Excel Blatt „Phase IV“

Nach vollständiger Eingabe werden die Produkte durch Betätigung der Schaltfläche „Reihung Phase IV durchführen“ nach dem Verhältnis der derzeitigen Fertigungskosten zu den Fertigungskosten nach der Automatisierungsinvestition gereiht. Die Reihung stellt die Endreihung der Phase IV dar und ist in Abbildung 7.10 dargestellt.

<b>Reihung Phase IV durchführen</b>	<i>Rang</i>	<i>Produkt</i>	<i>FK n. l. / FK</i>
	1	Test-TII	81,58%
	2	Test	92,11%
	3	Test-TI	97,37%
	4	Test 2-VII	104,00%
	5	Test 2-VI	136,00%
6			

Abbildung 7.10 – Endreihung in Excel Blatt „Phase IV“

### 7.8 Excel Blatt: Phase V

In der Spalte „Produkt“ sind alle Produkte einzugeben, die in Phase V einer genauen Investitionsrechnung unterzogen werden. Die Produkteingabe erfolgt mittels Auswahl aus einer automatisch hinterlegten Liste. Im Feld „Ergebnis“ ist für die betrachteten Produkte das Ergebnis der Investitionsrechnung durch Auswahl von „JA“ oder „NEIN“ einzugeben. Ein „JA“ bedeutet hierbei eine positive Investitionsentscheidung, während „NEIN“ für eine negative Investitionsentscheidung steht. Abbildung 7.11 zeigt das Excel Blatt „Phase V“.

	Produkt	Ergebnis
1	Test-TII	JA
2	Test	NEIN
3		

*Abbildung 7.11 – Excel Blatt „Phase V“*

### 7.9 Zusammenfassung

Die Excel Berechnungsmappe unterstützt die Anwendung der Entscheidungsmethodik. Die Ausführung in Excel ist elementar. Bewährt sich die Entscheidungsmethodik in einem Unternehmen und wird dort regelmäßig durchgeführt, ist diese Excel Berechnungsmappe beliebig anpass- und erweiterbar.

## 8 Conclusio

In Zeiten des globalen Wettbewerbes ist es für produzierende Unternehmen notwendig, den Fertigungsprozess so wirtschaftlich als möglich zu gestalten. Die europäische Manufuture – Initiative fordert die Wettbewerbsfähigkeit Europas nicht durch das Produzieren unter möglichst geringen Arbeitskosten, sondern durch einen hohen Anteil an wertschöpfenden Prozessen, zu erhalten. Dies führt zum Begriff des „High-Added-Value Competitive Sustainable Manufacturing“. Da das Lohnkostenniveau in Mitteleuropa zu den höchsten weltweit zählt, wird Fertigungsautomatisierung zu einem wesentlichen Faktor. Die Durchführung von genauen Investitionsrechnungen vor Investitionen zur Erhöhung des Automatisierungsgrades ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Motiviert durch die zukünftigen Anforderungen an den Produktionsstandort Mitteleuropa und den damit verbundenen Problemen wurde in dieser Arbeit eine Entscheidungsmethodik zur Fertigungsautomatisierung entwickelt.

### 8.1 Zusammenfassung

Die spezielle Struktur der Entscheidungsmethodik erlaubt es, produzierenden Unternehmen mit minimalem Aufwand seine Fertigung auf Optimierungspotential hinsichtlich Erhöhung des Automatisierungsgrades zu überprüfen. Die Entscheidungsmethodik ist in fünf Phasen gegliedert. Die einzelnen Phasen werden in einem Stage-Gate-ähnlichen Prozess durchlaufen. Für jede Phase existiert ein klar vorgegebener Ablauf. Am Ende jeder Phase gelangen nur diejenigen Produkte durch das „Gate“ in die nächste Phase, welche die definierten Kriterien erfüllen. Mit jeder Phase erhöht sich der Detaillierungsgrad der Betrachtung. Phase I setzt sich mit allgemeinen Vorüberlegungen inklusive der Produktdefinitionen auseinander. In Phase II werden nur Stückzahl und Fertigungskosten betrachtet, während in Phase III auch die Automatisierungskompetenz des Betriebes mit einbezogen wird. Diese Phase bildet den innovativen Kern der Entscheidungsmethodik. Phase IV erfordert bereits die Erarbeitung einer konkreten Automatisierungslösung. In Phase V wird die vor einer Investition unerlässliche Investitionsrechnung durchgeführt. Für Produkte, die beispielsweise in Phase II ausscheiden, müssen die nachfolgenden Phasen

nicht mehr durchgeführt werden. Das ergibt einen minimalen Aufwand für eine Überprüfung der Fertigung auf die Sinnhaftigkeit von Automatisierungsmaßnahmen. Dazu begleitend wurde eine Berechnungsmappe in Microsoft Excel erstellt, die die Durchführung der Entscheidungsmethodik durch den Anwender unterstützt.

In dieser Diplomarbeit wurde eine Entscheidungsmethodik entwickelt, die den gestellten Anforderungen genügt. Zur Verifizierung der Entscheidungsmethodik wurde diese auch mit realen Daten getestet. Eine Anforderung war es, dem Produktionsleiter oder Fertigungslinienmanager eine sinnvolle und schnell anwendbare Methodik zur Seite zu stellen, die es ihm ermöglicht, die Fertigung in regelmäßigen Abständen zu überprüfen. Die Entscheidungsmethodik ist vor allem für Betriebe im Bereich der Kleinserienfertigung, die viele verschiedene Produkte herstellen, von Vorteil. Wie die Überprüfung der Entscheidungsmethodik gezeigt hat, ist dieses Ziel aus der Sicht des Autors gelungen. Der Praxistest in der breiten industriellen Anwendung steht jedoch noch aus.

### 8.2 Ausblick

Die Entscheidungsmethodik wird an den jeweiligen Betrieb noch individuell angepasst. Diese Anpassung bezieht sich auf folgende Punkte:

- Fertigungskosten und Stückzahlen

In Phase III werden die Klassengrenzen für FK / Stück und gefertigte Stückzahl / Monat für jeden Betrieb individuell ermittelt. In dieser Arbeit wurden diese Klassengrenzen im Rahmen der Überprüfung der Entscheidungsmethodik, für einen Betrieb der Branche Schienenfahrzeugbau und für einen im medizinischen Prothesenbau ermittelt. Bei der erstmaligen Anwendung der Methodik, sind diese Klassengrenzen wie in der Methodik beschrieben festzulegen. Treten keine wesentlichen Veränderungen in der Produktionsstruktur und den Produktionsmengen auf, können diese Klassengrenzen für weitere Anwendungen der Entscheidungsmethodik beibehalten werden.

Es ist einfacher Produkte, die in höherer Stückzahl gefertigt werden rentabel zu automatisieren, als Produkte die höhere Fertigungskosten verursachen. Das Verhältnis dieser beiden Einflussgrößen wurde in dieser Arbeit anhand grundlegender Überlegungen abgeschätzt. An

der Erfassung dieser Verhältnismäßigkeit wird am IFT der TU Wien gearbeitet.

- Automatisierungskompetenz

Die Automatisierungskompetenz ist eine komplexe Funktion, an deren Beschreibung am IFT der TU Wien gearbeitet wird. Abhängig ist die Automatisierungskompetenz davon, welche ROI im Betrieb oder Unternehmen gefordert ist um Automatisierungsprojekte durchzuführen. Die Vorgabe eines kurzen ROI, heißt es nur sehr rentable Projekte zu realisieren. Die Forderung nach einem kurzen ROI kann auch als risikoscheue verstanden werden. Dies bringt allerdings auch mit sich, dass viele, mit beispielsweise einer Amortisationszeit zwischen 2 -4 Jahren, immer noch rentable Projekte, nicht realisiert werden.

Um auch Automatisierungsprojekte mit längeren Amortisationszeiten rentabel realisieren zu können, ist eine hohe Technologiekompetenz, d.h. entsprechendes Know-How und ständige Weiterentwicklung des Betriebes erforderlich. Hohe Technologiekompetenz ist ein entscheidender Faktor, um die Abwanderung der Produktion in Billiglohnländer zu vermeiden.

- Entscheidungsträger

Innerhalb dieser Arbeit werden für jede Phase der Entscheidungsmethodik durchführende Personen und Entscheidungsträger genannt. Dies ist jedoch nur als Vorschlag zu sehen. Die Entscheidungsträger müssen unbedingt in Abstimmung zur Aufbauorganisation des jeweiligen Unternehmens definiert werden.

Erweist sich die Entscheidungsmethodik in einem Unternehmen als nützliches Werkzeug, sollte diese als strategisches Instrument ins Unternehmen integriert werden.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1]. **Abele, Eberhard und Reinhart, Gunther.** *Zukunft der Produktion.* 2011. ISBN 978-3-446-42595-8.
- [2]. UN data. [Online] <http://data.un.org>.
- [3]. "Dreamliner" mit Fahrwerksproblem. [Online] 7. November 2011. [Zitat vom: 23. November 2011.] <http://orf.at/stories/2088307/2088303/>.
- [4]. Eurostat. [Online] <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do>.
- [5]. **Günther, Hans Otto.** *Produktion und Logistik.* 6. Auflage. 2005. ISBN 3-540-23246-X.
- [6]. **Westkämper, E. und Warnecke, H. - J.** *Einführung in die Fertigungstechnik.* 8. Auflage. 2010. ISBN 978-3-8348-0835-6.
- [7]. **Grote, K. - H. und Feldhausen, J.** *Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau.* 22. Auflage. 2007. ISBN 978-3-540-49714-1.
- [8]. **DIN, [Hrsg.]**. DIN 8580 - Fertigungsverfahren: Begriffe, Einteilung. September 2003 Berlin : s.n., 2003. DIN 8580:2003-09.
- [9]. **Pawellek, Günther.** *Produktionslogistik.* 2007. ISBN 978-3-446-41057-2.
- [10]. *Die Rückkehr der Industrie.* **Gaulhofer und Auer.** 25. September 2011, Die Presse am Sonntag.
- [11]. **Kinkel, Stefan und Lay, Gunter.** *Fertigungstiefe - Ballast oder Kapital?* s.l. : Fraunhofer Institut Systemtechnik und Innovationsforschung, 2003.
- [12]. **Jovane, F., Westkämper, E. und Williams, D.** *The ManuFuture Road.* 2009. ISBN 978-3-540-77011-4.
- [13]. **Carstensen, Peter.** *Investitionsrechnung kompakt.* 1.Auflage. 2008. ISBN 978-3-8349-1220-6.
- [14]. **Zingel, Harry.** *Investitionsrechnung.* 1.Auflage. 2009. ISBN 978-3-527-50468-8.
- [15]. **DIN, [Hrsg.]**. DIN 199-1 - CAD Modelle, Zeichnungen, Stücklisten. 2002. Teil 1: Begriffe. DIN 199-1:2002-03.

- [16]. **Schmidt, Holger.** Beitrag zum Variantenmanagement und zur Prozessoptimierung im Wagenkastenbau von Schienenfahrzeugen. [Dissertation]. Technische Universität Berlin : s.n., 2002.
- [17]. **Hondius, H.** Die Entwicklung der Niederflur- und Mittelflur Straßen- und Stadtbahnen. *Der Stadtverkehr*. 1999, 11/12, S. 6-24.
- [18]. **Lay, Gunter und Kinkel, Steffen und Jäger, Angela.** *Stellhebel für mehr Produktivität*. s.l. : Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung, 2009.
- [19]. **DIN, [Hrsg.]**. DIN 19233 - Prozeßautomatisierung. 1998. Juli 1998. DIN V 19233:1998-07.
- [20]. **Hesse, Stefan.** *Fertigungsautomatisierung*. 1. Auflage. 2000. ISBN 3-528-03914-0.
- [21]. **Koether, Reinhard und Rau, Wolfgang.** *Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure*. 3. Auflage. 2008. ISBN 978-3-446-41274-3.
- [22]. **VDI, [Hrsg.]**. VDI 2860 - Montage und Handhabungstechnik. 1990.
- [23]. RIA. [Online] [Zitat vom: 15. November 2011.] <http://www.robotics.org/>.
- [24]. International Federation of Robotics. [Online] 7. April 2011. [Zitat vom: 4. Mai 2011.] <http://www.ifr.org/news/ifr-press-release/robotics-supply-chain-what-impact-has-the-japanese-tragedy-254/>.
- [25]. **Weck, Manfred und Brecher, Christian.** *Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche*. 6. Auflage. 2005. ISBN 978-3-540-22504-1.
- [26]. **Bleicher, Friedrich.** Industrielle Fertigungssysteme. [Skriptum]. 2009.
- [27]. MAG Industrial Automation Systems. [Online] [Zitat vom: 14. August 2011.] <http://www.mag-ias.com/mag/produkte-services/powertrain/transferstrassen.html>.
- [28]. M&N Fördersysteme GmbH. [Online] [Zitat vom: 9. Mai 2011.] [http://www.mft-conveyor.de/html/power\\_free.html](http://www.mft-conveyor.de/html/power_free.html).
- [29]. **VDI, [Hrsg.]**. VDI 2510 - Fahrerlose Transportsysteme (FTS). Düsseldorf : s.n., Oktober 2005.

- [30]. **Lotter, Bruno und Wiendahl, Hans-Peter.** *Montage in der industriellen Produktion.* 2006. ISBN-103-540-21413-5.
- [31]. *World Robotics 2010.* s.l. : International Federation of Robotics, 2010.
- [32]. **Kamiske und Brauer.** *Qualitätsmanagement von A bis Z.* 6. Auflage. 2008. ISBN 978-3-446-41273-6.
- [33]. *Werkzeugmaschinen-Produktion und -Außenhandel nach Maschinengruppen.* s.l. : VDW Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken, 2010.
- [34]. **Haberstock, Lothar.** *Kostenrechnung I.* 13. Auflage. 2008. ISBN 978 3 503 10699 8.
- [35]. **Altenburg, K. und Sauer, O.** *Stahl im Schienenfahrzeugbau.* [Hrsg.] Studiengesellschaft Stahlanwendung. Tätigkeitsbericht 1994 - 1996.
- [36]. **Schraft, R.D. und Kaun, R.** *Automatisierung der Produktion: Erfolgsfaktoren und Vorgehen in der Praxis* 998. Berlin : s.n., 1998. ISBN 3-540-63861-X.

# A Produktion von Frästeilen im Bereich Schienenfahrzeugbau

Im Folgenden sind die derzeitigen Fertigungskosten und die kalkulierten Fertigungskosten des in Kapitel 6.1 behandelten Beispiels des Produktes Federplatte und Dämpferkonsole dargestellt. Weiters sind hier die notwendigen Investitionsrechnungen ausgeführt.

<b>Federplatte</b>		
	€	
Maschinenstunde	48,00	
	€	
Maschinenbediener / h	30,00	
		<i>Belegungszeit</i>
<i>Arbeitsschritt</i>	<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten/Einrichten Rohmaterial	0:20:00	0:20:00
2 Schruppen erste Seite	6:37:01	2:12:20
3 Schlichten erste Seite	1:39:00	0:33:00
4 Taschen fräsen	0:07:44	0:02:35
5 Zentrierbohren	0:00:16	0:00:05
6 Aufbohren	0:00:27	0:00:09
7 Nut fräsen	0:00:27	0:00:09
8 Umspannen	0:10:00	0:10:00
9 Schruppen zweite Seite	8:21:07	2:47:02
10 Besäumen	0:01:27	0:00:29
11 Restmaterial entfernen	0:11:26	0:03:49
12 Ausspannen	0:10:00	0:10:00
	<hr/>	<hr/>
	17:38:55	6:19:38
	€	
	847,13	€ 189,82
Kosten für Fertigung	€ 1.036,95	
	€	
Werkzeugkosten/Teil	323,00	
	<hr/>	
<b>Fertigungskosten für Teil</b> (Bearbeitung und Werkzeuge)	<b>€ 1.359,95</b>	

<b>Dämpferkonsole</b>		
Maschinenstunde	€	48,00
Maschinenbediener / h	€	30,00
	<i>Belegungszeit</i>	
<i>Arbeitsschritt</i>	<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten/Einrichten Rohmaterial	0:10:00	0:10:00
2 Schruppen erste Seite	0:31:15	0:10:25
3 Taschenfräsen	0:06:44	0:02:15
4 Taschenfräsen	0:00:29	0:00:10
5 Umspannen	0:03:00	0:03:00
6 Schruppen zweite Seite	0:48:35	0:16:12
7 Schlichten	0:00:27	0:00:09
8 Ausspannen	0:05:00	0:05:00
	1:45:30	0:47:10
	€ 84,40	€ 23,58
Kosten für Fertigung	€	107,98
Werkzeugkosten/Teil	€	46,60
<b>Fertigungskosten für Teil</b> (Bearbeitung und Werkzeuge)	<b>€</b>	<b>154,58</b>

<b>Federplatte automatisiert</b>			
Stückzahl / Monat			25
Maschinenstunde	€	48,00	
Maschinenbediener / h	€	30,00	
<b>Handhabung</b>			
Investitionskosten	€	190.000,00	
Abschreibungsdauer Monate		60	
kalk. Abschreibung / Monat	€	3.166,67	
kalkulatorische Abschreibung / Stück		126,67	
		<i>Belegungszeit</i>	
<i>Arbeitsschritt</i>		<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten/Einrichten Rohmaterial		0:02:00	0:00:06
2 Schruppen erste Seite		6:37:01	2:12:20
3 Schlichten erste Seite		1:39:00	0:33:00
4 Taschen fräsen		0:07:44	0:02:35
5 Zentrierbohren		0:00:16	0:00:05
6 Aufbohren		0:00:27	0:00:09
7 Nut fräsen		0:00:27	0:00:09
8 Umspannen		0:10:00	0:00:30
9 Schruppen zweite Seite		8:21:07	2:47:02
10 Besäumen		0:01:27	0:00:29
11 Restmaterial entfernen		0:11:26	0:03:49
12 Ausspannen		0:01:00	0:00:03
		17:11:55	5:40:17
	€	825,53	€ 170,14
Kosten für Fertigung	€	995,68	
Kosten für Fertigung und Investition	€	1.122,34	
Werkzeugkosten/Teil	€	323,00	
<b>Fertigungskosten für Teil</b> (Bearbeitung und Werkzeuge)	<b>€</b>	<b>1.445,34</b>	

<b>Dämpferkonsole automatisiert</b>		
Stückzahl / Monat		100
Maschinenstunde	€	48,00
Maschinenbediener / h	€	30,00
<b>Handhabung</b>		
Investitionskosten	€	50.000,00
Abschreibungsdauer Monate		60
kalk. Abschreibung / Monat	€	833,33
kalkulatorische Abschreibung / Stück		8,33
	<i>Belegungszeit</i>	
<i>Arbeitsschritt</i>	<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten/Einrichten Rohmaterial	0:01:00	0:00:03
2 Schruppen erste Seite	0:31:15	0:10:25
3 Taschenfräsen	0:06:44	0:02:15
4 Taschenfräsen	0:00:29	0:00:10
5 Umspannen	0:00:30	0:00:02
6 Schruppen zweite Seite	0:48:35	0:16:12
7 Schlichten	0:00:27	0:00:09
8 Ausspannen	0:01:00	0:00:03
	1:30:00	0:29:17
	€	72,00 € 14,65
Kosten für Fertigung	€	86,65
Kosten für Fertigung und Investition	€	94,98
Werkzeugkosten/Teil	€	46,60
<b>Fertigungskosten für Teil</b> (Bearbeitung und Werkzeuge)	<b>€</b>	<b>141,58</b>

Im Folgenden sind die Investitionsrechnung für die Produkte Dämpferkonsole und Federplatte ausgeführt. Die Stückzahl ist über die nächsten fünf Jahre als konstant angenommen.

<b>Investitionsrechnung: Dämpferkonsole</b>		
<b>Anschaffungspreis der Investition</b>		
Anschaffungspreis	€	40.000,00
Installationskosten	€	2.000,00
Vorrichtungskosten	€	11.000,00
Nebenausgaben		
Investitionskosten	€	53.000,00
	Erhöhung	Senkung
<b>Erforderliches Kapital</b>		
Investitionskosten	€	53.000,00
Erhöhung des Umlaufvermögens		
Liquidationserlös der zu ersetzenden Investition		
Demontagekosten der zu ersetzenden Investition		
Erfordeliche Ausgaben für Großreparaturen falls neue Investition nicht durchgeführt wird		
Erfordeliches Kapital	€	53.000,00
<b>Ertragsveränderung</b>		
höhere Stückzahl		
Qualitätsverbesserung		
Summe der Ertragsveränderung		
<b>Kostenveränderung / Jahr</b>		
Materialkosten		
Fertigungskosten		€ 25.800,00
Instandhaltung	€	1.200,00
Nacharbeit und Ausschuß		
Energiekosten		
Summe Kostenveränderung		€ 24.600,00
Kapitaldienst der neuen Anlage (6 %, 5 Jahre)	€	12.580,00
<b>Gewinn der Investition pro Jahr</b>		€ 12.020,00

Der Return On Investment ROI wird wie folgt berechnet:

$$ROI = \frac{\sum \text{Kosten}_{\text{keine Investition}} - \sum \text{Kosten}_{\text{Investition}}}{\emptyset \text{ Kapitaleinsatz}}$$

<b>ROI: Dämpferkonsole-VI</b>		
	keine Investition	Investition
<b>Kapitaleinsatz</b>		€ 53.000,00
zusätzliche kalk. Abschreibungen		€ 10.600,00
<b>Betriebskosten</b>		
Fertigungskosten	€ 130.000,00	€ 104.000,00
Instandhaltung		€ 1.200,00
<b>Summe Kosten + Kapitaleinsatz</b>	€ 130.000,00	€ 115.800,00
<b>ROI</b>		<b>54%</b>

<b>Investitionsrechnung: Federplatte</b>		
<b>Anschaffungspreis der Investition</b>		
Anschaffungspreis	€	170.000,00
Installationskosten	€	8.000,00
Vorrichtungskosten	€	14.000,00
Nebenausgaben		
Investitionskosten	€	192.000,00
	Erhöhung	Senkung
<b>Erforderliches Kapital</b>		
Investitionskosten	€	192.000,00
Erhöhung des Umlaufvermögens		
Liquidationserlös der zu ersetzenden Investition		
Demontagekosten der zu ersetzenden Investition		
Erforderliche Ausgaben für Großreparaturen falls neue Investition nicht durchgeführt wird		
Erforderliches Kapital	€	192.000,00
<b>Ertragsveränderung</b>		
höhere Stückzahl		
Qualitätsverbesserung		
Summe der Ertragsveränderung		
<b>Kostenveränderung / Jahr</b>		
Materialkosten		
Fertigungskosten		€ 12.800,00
Instandhaltung	€	2.000,00
Nacharbeit und Ausschuß		
Energiekosten		
Summe Kostenveränderung		€ 10.800,00
Kapitaldienst der neuen Anlage (6 %, 5 Jahre)	€	45.580,00
<b>Verlust der Investition pro Jahr</b>		€ 34.780,00

## B Produktion von Bauteilen für einen Hersteller medizinischer Prothesen

Anhang B ergänzt das in Kapitel 6.2 behandelte Beispiel. Dargestellt ist die Kalkulation der Fertigungskosten sowie die Investitionsrechnung des Produktes DFT-16.

<b>DFT-16</b>		
Maschinenstunde Drehen	€	20,00
Maschinenstunde Fräsen	€	48,00
Maschinenbediener / h	€	30,00
	<i>Belegungszeit</i>	
<i>Arbeitsschritt</i>	<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten	0:02:24	0:02:24
2 Rüsten Drehen I	0:00:45	0:00:45
3 Drehen I	0:01:41	0:00:34
4 Rüsten Drehen II	0:01:09	0:01:09
5 Drehen II	0:05:36	0:01:52
6 Rüsten Fräsen	0:00:30	0:00:30
7 Fräsen	0:03:00	0:01:00
	0:15:05	0:08:14
	€ 5,86	€ 4,11
<b>Fertigungskosten für Teil</b>	<b>€</b>	<b>9,98</b>

<b>DFT-16 automatisiert</b>			
Stückzahl / Monat		395	
Maschinenstunde Drehen	€	20,00	
Maschinenstunde Fräsen	€	48,00	
Maschinenbediener / h	€	30,00	
<i>Handhabung Drehen und Fräsen</i>			
Investitionskosten	€	47.000,00	
Abschreibungsdauer Monate		60	
kalk. Abschreibung / Monat	€	783,33	
kalkulatorische Abschreibung / Stück		1,98	
		<i>Belegungszeit</i>	
<i>Arbeitsschritt</i>		<i>Maschine</i>	<i>Bediener</i>
1 Rüsten		0:02:24	0:02:24
2 Rüsten Drehen I		0:00:10	0:00:01
3 Drehen I		0:01:41	0:00:34
4 Rüsten Drehen II		0:01:09	0:00:03
5 Drehen II		0:05:36	0:01:52
6 Rüsten Fräsen		0:00:30	0:00:02
7 Fräsen		0:03:00	0:01:00
		0:14:30	0:05:42
	€	5,67	€ 2,85
Kosten für Fertigung	€	8,52	
Kosten für Investition	€	1,43	
<b>Fertigungskosten für Teil</b>	<b>€</b>	<b>9,95</b>	

## B Produktion Bauteilen für einen Hersteller medizinischer Prothesen

Im Folgenden ist die Investitionsrechnung für das Produkt DFT-16 dargestellt. Die Stückzahl wird über die nächsten fünf Jahre als konstant angenommen.

<b>Investitionsrechnung: DFT-16-TI-VI</b>		
<b>Anschaffungspreis der Investition</b>		
Anschaffungspreis	€	32.000,00
Installationskosten	€	2.000,00
Vorrichtungskosten		
Nebenausgaben		
Investitionskosten	€	34.000,00
	Erhöhung	Senkung
<b>Erforderliches Kapital</b>		
Investitionskosten	€	34.000,00
Erhöhung des Umlaufvermögens		
Liquidationserlös der zu ersetzenden Investition		
Demontagekosten der zu ersetzenden Investition		
Erforderliche Ausgaben für Großreparaturen falls neue Investition nicht durchgeführt wird		
Erforderliches Kapital	€	34.000,00
<b>Ertragsveränderung</b>		
höhere Stückzahl		
Qualitätsverbesserung		
Summe der Ertragsveränderung		
<b>Kostenveränderung / Jahr</b>		
Materialkosten		
Fertigungskosten		€ 6.920,00
Instandhaltung	€	200,00
Nacharbeit und Ausschuß		
Energiekosten		
Summe Kostenveränderung		€ 6.720,00
Kapitaldienst der neuen Anlage (6 %, 5 Jahre)	€	8.071,00
<b>Verlust der Investition pro Jahr</b>		€ 1.351,00

## C Berechnung der Schnittfläche im ZKM

Für das in Kapitel 6.1 ausgeführte Beispiel wird die benötigte Schnittfläche für das Zwei - Kreismodell errechnet. Die Einheit spielt dabei keine Rolle.

$$\text{Kreisgleichung Kreis A: } x^2 + y^2 = r_1^2$$

$$\text{Kreisgleichung Kreis B: } (x - 4,16)^2 + y^2 = r_2^2$$

$$\text{Schnittpunkt: } r_1^2 - x^2 = r_2^2 - (x - 4,16)^2$$

### Schnittfläche: FK-3 / n-17.4

$$r_1 := 1.5 \quad r_2 := 8.7$$

Given

$$(r_1)^2 - x^2 = (r_2)^2 - (x - 4.16)^2$$

$$x := \frac{1}{8.33}$$

$$y := \sqrt{(r_1)^2 - x^2} \quad y = 1.495$$

$$S := 2 \cdot y \quad S = 2.99$$

$$\text{Kreis A: } \alpha := 2 \cdot \left( \text{asin} \left( \frac{S}{2 \cdot r_1} \right) \right) \quad \alpha = 2.981$$

$$A := (r_1)^2 \cdot \frac{(\alpha - \sin(\alpha))}{2} \quad A = 3.175$$

$$\text{Kreis B: } \alpha := 2 \cdot \left( \text{asin} \left( \frac{S}{2 \cdot r_2} \right) \right) \quad \alpha = 0.345$$

$$B := (r_2)^2 \cdot \frac{(\alpha - \sin(\alpha))}{2} \quad B = 0.258$$

$$A_{\text{Dämpferkonsole}} := A + B$$

$$A_{\text{Dämpferkonsole}} = 3.433$$