

MASTERARBEIT

Modellierung wandlungsfähiger Produktionssysteme zur Kapazitätsplanung

bearbeitet von: Ralf de Riese

Studiengang: MSc Wirtschaftsingenieurwesen

Matrikel-Nr.: 154553

Ausgegeben am: 23.09.2013

Eingereicht am: 10.03.2014

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe

Betreuer: Dipl.-Geoinf. Maik Deininger

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1 Zielsetzung und Aufbau.....	1
2 Modellbildung.....	3
2.1 Allgemeine Modelltheorien.....	3
2.2 Modellierungsmethode und -sprache.....	6
2.3 Modellierungssprachen für Daten	8
2.3.1 Entity-Relationship-Modelle (ERM).....	8
2.3.2 UML Klassendiagramme.....	10
2.4 Modellierung von Prozessen.....	13
2.4.1 Ereignisgesteuerte Prozessketten	13
2.4.2 Petri-Netze.....	15
2.4.3 Integrierte Unternehmensmodellierung.....	18
3 Kapazität.....	21
3.1 Definition.....	21
3.2 Kapazitätsfaktoren	23
3.3 Qualitative und Quantitative Kapazität.....	25
3.4 Kapazitätsplanung und -steuerung	31

3.5	Prozess der Kapazitätsplanung	33
3.5.1	Ermittlung des Kapazitätsbestandes.....	33
3.5.1.1.	Deterministische Modelle	34
3.5.1.2.	Stochastische Ansätze zur Leistungsanalyse	37
3.5.2	Analyse des Kapazitätsbedarfs und Kapazitätsabgleich..	38
4	Wandlungsfähigkeit	41
4.1	Definition.....	41
4.2	Wandlungsbefähiger	44
4.3	Wandlungsfähigkeit von Kapazitäten	46
4.4	Bedeutung der Wandlungsfähigkeit für die Kapazitätsplanung	49
5	Abbildung der Kapazitätsplanung in Modellen.....	51
5.1	Prozessmodell der Kapazitätsplanung.....	51
5.2	Abbildung des Kapazitätsbestands	54
5.2.1	Kapazitätswirksame Eigenschaften der Potentialfaktoren	55
5.2.2	Kapazitätswirksame Eigenschaften der elementaren Produktionssysteme.....	56
5.2.3	Beschreibung des Objektes „Fertigungsstufe“	56
5.2.4	Überführung in das Modell.....	57
6	Beispielhafte Darstellung	60
6.1	Szenario	60
6.2	Abbildung des Systems durch das Modell	62

7 Zusammenfassung 69

Literaturverzeichnis.....VIII-XIV

Eidesstattliche Erklärung.....XV

Belehrung.....XVI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenhang Modell und reales System	3
Abbildung 2: Abstraktionsgrad von Modellen	4
Abbildung 3: Abgrenzung von Modell, Methode und Sprache	7
Abbildung 4: Symbole IUM 1	19
Abbildung 5: Symbole IUM 2	20
Abbildung 6: Eigenschaften der quantitativen Kapazität.....	26
Abbildung 7: Quantitative Kapazität einer Fertigungsstufe	28
Abbildung 8: Methoden zur Ermittlung des Kapazitätsbestand	34
Abbildung 9: Vorgehensweise zur Ermittlung des Kapazitätsbedarfs..	39
Abbildung 10: Kapazitätsabgleich.....	40
Abbildung 11: Abgrenzung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit ...	42
Abbildung 12: Abschätzung der notwendigen Wandlungsfähigkeit	43
Abbildung 13: Teilabschnitt 1 des EPK.....	51
Abbildung 14: Teilabschnitt 2 des EPK.....	52
Abbildung 15: Teilabschnitt 3 des EPK.....	52
Abbildung 16: Teilabschnitt 4 des EPK.....	53
Abbildung 17: Teilabschnitt 1 des ERM.....	55
Abbildung 18: Teilabschnitt 2 des ERM.....	55
Abbildung 19: Teilabschnitt 3 ERM.....	56
Abbildung 20: Teilabschnitt 4 ERM.....	56
Abbildung 21: ERM Modell	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Symbole der ERM	10
Tabelle 2: Übersicht Symbole der UML Klassendiagramme	12
Tabelle 3: Übersicht der Symbole der EPK	15
Tabelle 4: Symbole der Petri Netze	17
Tabelle 5: Verbindungselemente IUM	19
Tabelle 6: Mitarbeiterereinteilung nach Qualifikation	46
Tabelle 7: Anpassungsmöglichkeiten der Kapazität	49
Tabelle 8: Zuweisung des Spezialisierungsgrades.....	55
Tabelle 9: Entitätstyp „Betriebsmittel“	62
Tabelle 10: Entitätstyp „Mitarbeiter“	63
Tabelle 11: Entitätstyp „Schichtplan“	63
Tabelle 12: Beziehungstyp „Schichtzuweisung“	63
Tabelle 13: Entitätstyp „Elementares Produktionssystem“	64
Tabelle 14: Beziehungstyp „Besteht aus“	66
Tabelle 15: Entitätstyp „Fertigungssysteme Stufe 1“	67
Tabelle 16: Beziehungstyp „Besteht aus“ für Fertigungsstufe 2	68
Tabelle 17: Entitätstyp „Fertigungsstufe 2“	68

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERM	Entity-Relationship-Modell
f.	folgende
ff.	fortfolgende
html	Hypertext Markup Language
http	Hypertext Transfer Protocol
IUM	Integrierte Unternehmensmodellierung
max.	maximal
min.	minimal
mögl.	möglich(e)
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V.
S.	Seite
Std.	Stunde(n)
UML	Unified Modeling Language
www	World Wide Web
z.B.	zum Beispiel
ZVEI	Zentralverbands der elektronischen Industrie

1 Zielsetzung und Aufbau

Die Marktbedingungen vieler Unternehmen haben sich mit der Zeit stark verändert. Dabei spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Dazu zählen die rasante Ausbreitung neuer Technologien, oft sehr offensive Wettbewerber, eine immer dichtere Vernetzung von Kapital- und Güterströmen sowie eine Aufspaltung und dynamische Neuausrichtung der Wertschöpfungsketten.

Produkte werden in zunehmender Modellvielfalt nachgefragt. Produktlebenszyklen werden kürzer und Nachfragezahlen unterliegen einer stärkeren Fluktuation. Um auch in Zukunft am Markt bestehen zu können ist es wichtig, dass Unternehmen in der Lage sind auf diese Marktturbulenzen schnell und flexibel zu reagieren. Aus diesem Grund sind sie gezwungen ihre Produktionssysteme möglichst wandlungsfähig zu gestalten, um so schnell und effizient strukturelle Anpassungen vornehmen zu können. [Nyhuis 2008, S.13]

Die Berücksichtigung von Kapazitäten in der mittelfristigen Produktionsplanung ist eine komplexe Aufgabe für produzierende Unternehmen. Die Entscheidung über die Annahme eines neuen Auftrages hängt maßgeblich von den verfügbaren Kapazitäten ab.

In einem wandlungsfähigen Produktionssystem sind die Kapazitäten eines Unternehmens, durch dessen Anpassungsmöglichkeiten an die kundenindividuelle Nachfrage, nur schwer einschätzbar. Damit werden oft schlecht fundierte oder gar für das Unternehmen nachteilige Entscheidungen getroffen.

Ziel dieser Arbeit ist es die Entscheidungsgrundlage zur Annahme eines neuen Auftrages zu verbessern, indem die Kapazitäten eines wandlungsfähigen Produktionssystems untersucht und modelliert werden.

Hierzu werden in Kapitel zwei unterschiedliche Möglichkeiten reale Systeme in Modellen abzubilden erläutert und relevante Modellierungstechniken beschrieben. Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der Beschreibung verschiedener Modellierungsmethoden zur Darstellung von Informationsstrukturen und Prozessen.

Im dritten Kapitel werden betriebliche Kapazitäten untersucht. Hierzu wird zunächst der Kapazitätsbegriff definiert und hinsichtlich der Bemessungsperiodenlänge, des Leistungsvermögens, der Kapazitätsfaktoren und der Maßeinheiten präzisiert.

Im Anschluss wird auf den Prozess der Kapazitätsplanung sowie seiner Bestandteile eingegangen.

In Kapitel vier wird erläutert durch welche Potentiale sich wandlungsfähige Unternehmen auszeichnen und welche Merkmale sie aufweisen müssen. Des Weiteren wird untersucht welche Eigenschaften der Kapazität die Wandlungsfähigkeit beeinflussen sowie die Anforderungen welche die Wandlungsfähigkeit an die Kapazitätsplanung stellt.

Im fünften Kapitel werden Modelle zur Unterstützung der Kapazitätsplanung vorgestellt. Hierbei wird sowohl der Planungsprozess als auch die Struktur der für den Kapazitätsbestand relevanten Daten aufgezeigt. Die praktische Anwendung wird in Kapitel sechs mithilfe einer beispielhaften Fahrradfabrik aufgezeigt. Anhand eines Szenarios wird die Funktionsweise des Datenmodells dargestellt.

2 Modellbildung

2.1 Allgemeine Modelltheorien

Der Philosoph Klaus Dieter Wüsteneck definierte ein Modell als „... ein System, das als Repräsentant eines komplizierten Originals aufgrund mit diesem gemeinsamer, für eine bestimmte Aufgabe wesentlicher Eigenschaften von einem dritten System benutzt, ausgewählt oder geschaffen wird, um letzterem die Erfassung oder Beherrschung des Originals zu ermöglichen oder zu erleichtern beziehungsweise um es zu ersetzen.“ [Wycisk 2009, S.145]

Modelle können technische oder organische Gebilde, wie auch semiotische, in Text gefasste oder mathematische Beschreibungen sein. Entscheidend ist, dass das Modell in einer bestimmten Beziehung zu dem abzubildenden System steht. [Kühn 2006, S. 27] Dabei wird jede Abbildung von realen Elementen des Systems durch Elemente des Modells abstrahiert. Die Abbildung selbst basiert auf spezifischen Merkmalen wie Ausbringung, Kapazität oder Zeitverbrauch pro Mengeneinheit des realen Systems. [Kühn 2006, S. 45] Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen einem realen System und einem Modell.

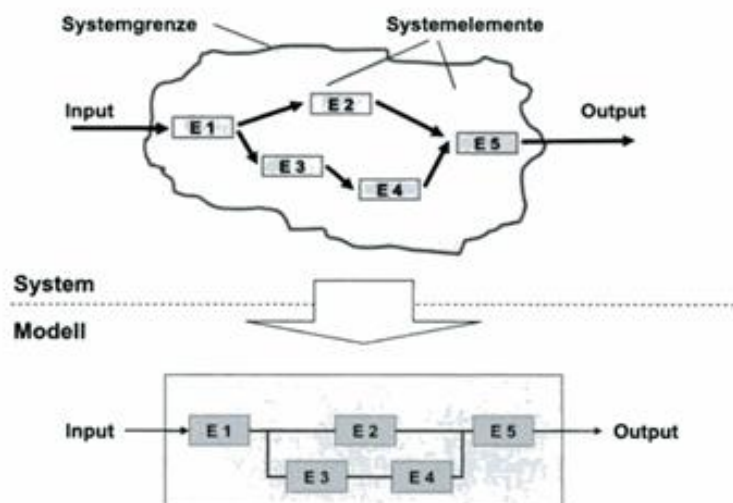


Abbildung 1: Zusammenhang Modell und reales System
Quelle: [Kühn 2006, S. 45]

Andere Merkmale des realen Systems wie z.B. Alter und Farbe von Maschinen werden nicht abgebildet, weil sie für den Zweck des Modells unerheblich sind. Jede Planung steht damit hinsichtlich des Komplexitätsgrades des zu formulierenden Planungsmodells vor einem Konflikt: Einerseits muss das Planungsmodell möglichst alle relevanten Wirkungszusammenhänge abbilden um realistisch zu sein. Andererseits soll es aber auch handhabbar bleiben. Die Bandbreite von Modellen reicht von hoch formalisierten bis hin zu anschaulichen Exemplaren. Dies wird in Abbildung 2 dargestellt. [Schady 2008, S. 28]

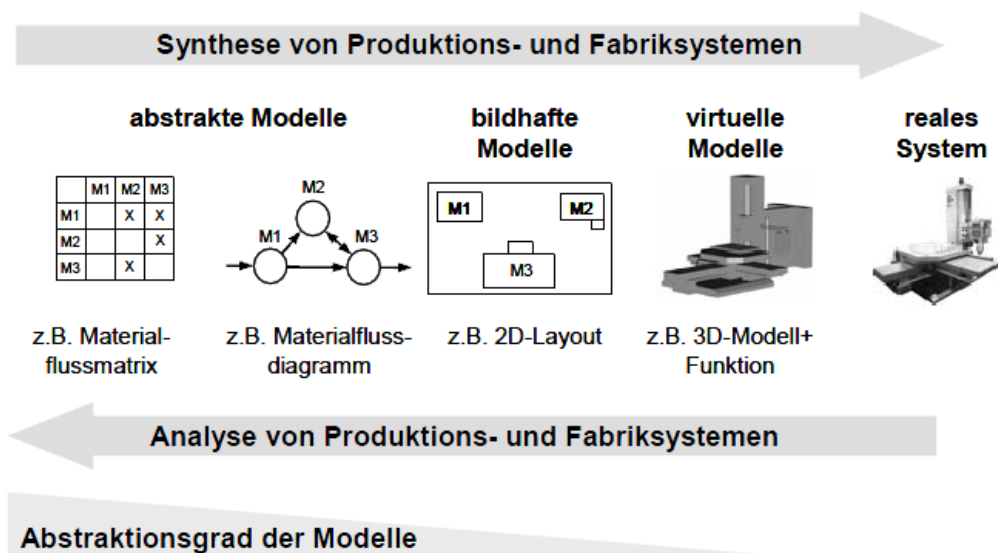


Abbildung 2: Abstraktionsgrad von Modellen
Quelle: [Schady 2008, S. 28]

Neben dem Abstraktionsgrad gibt es weitere Merkmale anhand derer Modelle spezifiziert werden können. Diese sind z.B.:

- Zeitbezug
- Raumbezug
- Modellverhalten
- Physikalische Gesetzmäßigkeiten
- Modellierungskonzept
- Aussagekraft und Qualität der Ergebnisse

Zeitbezug

Im Gegensatz zu statischen Modellen bilden dynamische Modelle auch zeitliche Veränderungen des Systemzustandes ab. Sind bei einem System zu jedem Zeitpunkt $t=t_1$ alle Ausgangssignale nur von den augenblicklichen Werten der Eingangssignale zu demselben Zeitpunkt abhängig, so handelt es sich um ein statisches System. Andernfalls handelt es sich um ein dynamisches System. [Fritz 2007, S. 27]

Raumbezug

Der Raumbezug charakterisiert die Art und den Umfang der Abbildung räumlich-geometrischer Zusammenhänge. So können Modelle in 3D Geometrien sowie in 2D Geometrien abgebildet werden. [Kühn 2006, S. 14]

Modellverhalten

Deterministische Systeme lassen sich in ihrem Verhalten exakt vorhersagen. In stochastischen Systemen können die Systemgrößen zufallsbedingt variieren. Beispiele zufallsbehafteter Größen sind Störungen, Aufträge aus dem Markt und Leistungen der Arbeitskräfte. [Fritz 2007, S. 27]

Physikalische Gesetzmäßigkeiten

Modelle unterscheiden sich in der Art und dem Umfang in dem sie physikalische Gesetzmäßigkeiten z.B. kinetische Zusammenhänge abbilden. [Kühn 2006, S. 14]

Modellierungskonzept

Modelle können aufbauorganisatorische oder ablauforganisatorische Strukturen und Sichtweisen abbilden. Bei aufbauorganisatorisch orientierten Modellen steht die Topologie der Systemkomponenten im Vordergrund. Bei ablauforganisatorisch orientierten Modellen stehen die Prozesse im Vordergrund. [Kühn 2006, S. 14]

Aussagekraft und Qualität der Ergebnisse

Die Ergebnisse können qualitativer oder quantitativer Art sein. Die Ergebnisqualität hängt maßgeblich von der Güte der eingesetzten Modellierungsmethoden und den verfügbaren Daten ab. In quantitativen (mathematischen) Modellen werden sämtliche im Modell abgebildeten Aspekte eines realen Entscheidungsproblems durch kardinal messbare Informationen beschrieben. Qualitative Modelle beinhalten, neben quantitativen Zusammenhängen, verbale Problembeschreibungen anhand qualitativer (d.h. ordinal oder nominal messbarer) Informationen. Diese basieren häufig auf subjektiven Einschätzungen und beschränken sich meist auf die Darstellung grundlegender Zusammenhänge und Tendenzen. [Kühn 2006, S. 36-37]

2.2 Modellierungsmethode und -sprache

Im Umfeld der IT und Organisation werden in der Regel immaterielle Modelle verwendet. Im Fokus stehen immer Informationen. Informationsmodelle sind eine Konkretisierung des allgemeinen Modellbegriffs. Sie können definiert werden als die immaterielle Repräsentation des betrieblichen Objektsystems, aus Sicht der verarbeiteten Informationen, für Zwecke des Informationssystems und Organisationsgestalters.

Symbole wie Rechtecke, Rauten, Sechsecke und Verbindungslinien repräsentieren das Original und bilden die Modellierungssprache.

Bei der Modellierung müssen für jede Modellierungssprache spezifische Syntaxregeln beachtet werden. [Becker 2012, S. 2-3]

Die Modellierungsmethode geht über die Modellierungssprache hinaus. Sie bildet ein über die formalen Verknüpfungsregeln hinausgehendes Vorgehen. Die Modellierungsmethode beschreibt wie die -sprache bei unterschiedlichen Anforderungen am sinnvollsten einzusetzen ist um ein Problem zu beschreiben. Der Zusammenhang zwischen Modellierungsmethode und -sprache wird in Abbildung 3 dargestellt.

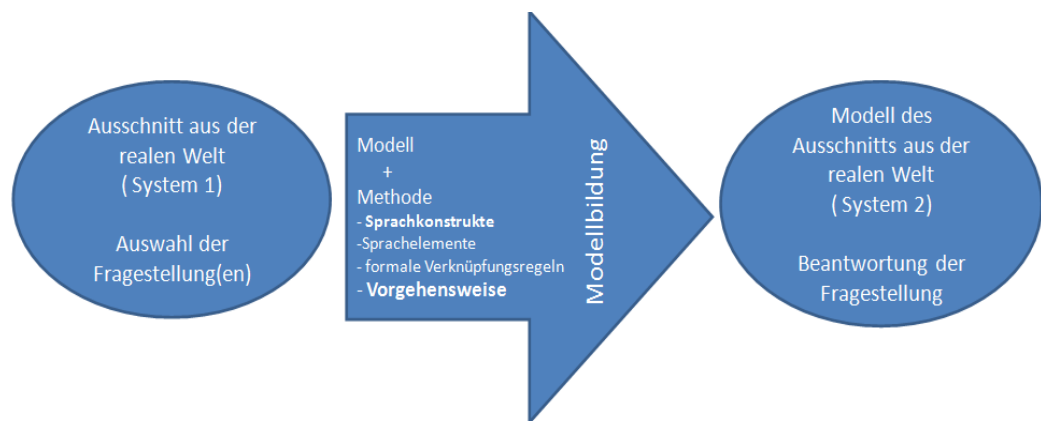


Abbildung 3: Abgrenzung von Modell, Methode und Sprache
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Mertins 1994, S. 12]

Modelle sind allgemeingültige Systeme deren Anwendungsbereich über die Wahl der Modellierungsmethode eingeschränkt wird. Modelle und Methoden dienen zur Beschreibung der Aspekte von Produktionssystemen sowie zur Datenmodellierung. Hierbei wird unterschieden zwischen anwendungsneutralen und speziell für einen bestimmten Anwendungszweck entwickelten Methoden. Wobei dies nicht bedeutet, dass die Methoden nicht auch für andere Zwecke verwendet werden können. So können beispielsweise die für den Softwareentwurf entwickelten Entity-Relationship-Modelle auch zur Beschreibung der Aspekte von Produktionssystemen eingesetzt werden. [Mertins 1994, S. 12-13]

2.3 Modellierungssprachen für Daten

Die Datenmodellierung wird zur Entwicklung und dem Entwurf von Informationssystemen verwendet. Sie beschreibt die für den Zweck des Modells relevanten Informationsobjekte sowie deren Eigenschaften und Beziehungen untereinander. In der Regel sind nicht die individuellen Exemplare eines Informationsobjektes zur Darstellung der Datensicht von Bedeutung, sondern die Objekttypen. Aus diesem Grund werden generelle Eigenschaften und Zusammenhänge auf Typenebenen identifiziert und dargestellt. [Lackes 2013, www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de]

2.3.1 Entity-Relationship-Modelle (ERM)

Das ERM ist wohl die am weitesten verbreitete Modellierungssprache zur Datenmodellierung. Die Popularität dieser Modelle ist darauf zurückzuführen, dass sie komplexe Zusammenhänge leicht und verständlich abbilden können. Hierbei benötigen die ERM lediglich zwei Grundelemente. Entitäten, welche reale Objekte widerspiegeln sowie Beziehungen zwischen diesen Objekten. Gleichartige Entitäten werden zu Entitätstypen zusammengefasst. Ebenso werden Beziehungen in Beziehungstypen eingeteilt. [Mertins 1994, S.143]

Die Verbindung von Entitätstypen mit Beziehungstypen wird durch sogenannte Kardinalitäten weiter charakterisiert. Die Kardinalität gibt an wie oft ein Entitätstyp in eine Beziehung eingehen kann. Hierzu wird die „Min Max“ Notation genutzt (min, max). Grundsätzlich sind Beziehungen in Form von „1:n“, „m:n“ und „1:1“ möglich, wobei „m“ und „n“ für eine Zahl zwischen eins und unendlich stehen. [Chen 1976, S. 19-20]

Objekte und Beziehungen können in der realen Welt noch weitere Eigenschaften wie z.B. Farbe, Maße und Gewicht besitzen. Diese werden im ERM durch Attribute abgebildet. Um Objekte eindeutig zu identifizieren besitzt jedes Objekt ein Schlüsselattribut. Ebenfalls können Beziehungen Attribute besitzen, welche diese eindeutig identifizieren. [Becker 2012, S. 5]

Bei der Modellierung kommt der Abstraktion von Sachverhalten eine besondere Bedeutung zu. Hierbei unterscheidet man zwischen den Abstraktionskonzepten Generalisierung bzw. Spezialisierung, Klassifizierung und der Aggregation.

Bei der **Klassifizierung** werden gleichartige Entitäten zu übergeordneten Entitätstypen zusammengefasst. Hierbei wird eine bestimmte Eigenschaft betrachtet, welche bei allen Entitäten gleich ist. Es ist darauf zu achten, dass diese Eigenschaft so allgemeingültig gewählt ist, dass alle untergeordneten Entitäten diese erfüllen. [Becker 2012, S. 7]

Bei der **Generalisierung** wird aus zwei oder mehreren Entitätstypen ein übergeordneter Entitätstyp gebildet. Bei der **Spezialisierung** werden aus einem übergeordneten Entitätstyp ein oder mehrere untergeordnete Entitätstypen gebildet. [Jaeschke 1996, S. 24-25]

Unter **Aggregation** wird die Kombination bestehender Entitätstypen verstanden. Die Rekursion bezeichnet Beziehungen die ein Entitätstyp mit sich selber eingeht. Hierbei kann zwischen Hierarchie und Struktur unterschieden werden. Bei einer **Hierarchie** hat jedes übergeordnete Objekt der realen Welt mehrere untergeordnete Objekte und jedes untergeordnete Objekte nur ein übergeordnetes Objekt. Sind mehrere übergeordnete Objekte möglich so liegt ein Netz oder eine Struktur vor. [Becker 2012, S. 5]

ERM stellen strukturelle Systemaspekte in den Vordergrund. Hierdurch können statische Datenzusammenhänge dargestellt werden. Sie können sowohl zur Softwareentwicklung eingesetzt werden als auch zur Beschreibung von Unternehmensdatenstrukturen. [Mertins 1994, S. 144] In Tabelle 1 sind die unterschiedlichen Symbole der ERM aufgezeigt.

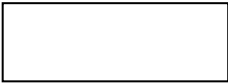



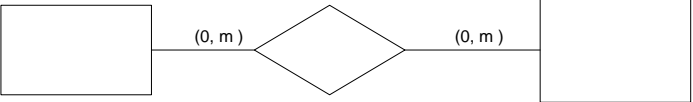
Element	Symbol
Entität	
Beziehungstyp	
Attribute	
Generalisierung / Spezialisierung	
Beziehung mit Kardinalität	

Tabelle 1: Übersicht der Symbole der ERM
 Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Becker 2012, S. 6]

2.3.2 UML Klassendiagramme

Klassendiagramme sind ein Modelltyp der Unified Modeling Language (UML). Sie stellen die Zusammenhänge von Klassen sowie deren Aufbau dar. Klassen beschreiben Typen realweltlicher Objekte. Sie besitzen dabei eine Menge von Attributen und Operatoren. Attribute beschreiben die Eigenschaften der Klasse, Operatoren deren Verhalten. Eine Klasse wird durch eine dreiteilige Box dargestellt. Im oberen Teil steht der Name, im mittleren Teil stehen die Attribute und im unteren Teil die Operatoren.

Ebenfalls enthält die Box Informationen über den Daten- bzw. Rückgabetypp der Attribute oder Operatoren sowie Informationen über deren Sichtbarkeit. [Guist 2013, www.fbi.h-da.de]

Einzelne Klassen können über Assoziationen in Beziehung zueinander gesetzt werden. Hierbei wird zwischen unären und binären Assoziationen unterschieden. Bei einer unären Assoziation führt ein Pfeil von der Quell- zur Zielklasse. Wobei die Zielklasse ein Attribut enthält, welches die Assoziation beschreibt. Bei einer binären Assoziation enthalten beide Klassen ein zusätzliches Attribut. Assoziationen können bestimmte Eigenschaften aufweisen, welche im UML Klassendiagramm mithilfe von geschweiften Klammern dargestellt werden. [Becker 2012, S.10]

Für Assoziationen die näher beschrieben werden sollen werden Assoziationsklassen verwendet. In diesen können den Assoziationen mehrere Attribute und Operatoren zugewiesen werden. Bei Beziehungen welche zwischen mehr als zwei Klassen gebildet werden spricht man von n-ären Assoziationen. Diese werden in Form einer Raute dargestellt. [Staud 2010, S. 50]

Mithilfe einer Komposition bzw. einer Aggregation werden spezielle Assoziationen dargestellt. Diese beschreiben, dass eine „besteht aus“-Beziehung zwischen zwei Klassen vorhanden ist. Bei einer Komposition können die Unterklassen nicht ohne die Oberklasse bestehen. Bei einer Aggregation hingegen können die Unterklassen auch ohne die Oberklasse bestehen. Wie bei der ER-Modellierung kann über Kardinalitäten angegeben werden, wie oft eine Klasse in eine andere eingehen kann. Hier wird ebenfalls die „Min Max“ Notation genutzt. Ebenso verfügt das Klassendiagramm über die Möglichkeit der Generalisierung sowie der Spezialisierung. [Becker 2012, S.14]

Element	Symbol
Klasse	
Unäre Assoziation	
Binäre Assoziation	
N-äre Assoziation	
Assoziationsklasse	
Komposition	
Aggregation	
Generalisierung / Spezialisierung	

Tabelle 2: Übersicht Symbole der UML Klassendiagramme
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Becker 2012, S.16]

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die bei der Modellierung von Klassendiagrammen verwendeten Symbole.

2.4 Modellierung von Prozessen

„Unter einem Prozess wird eine geordnete Abfolge von Aktivitäten verstanden, die einen definierten Input in einen definierten Output überführen.“ [Kuhn 2002, S. 117]

Ein Prozess setzt sein vorhandenes Leistungspotential ein um Prozessgegenstände zu verändern. Prozessgegenstände können z.B. Materialien, Bauteile oder Informationen sein. [Schady 2008, S.33-34]

2.4.1 Ereignisgesteuerte Prozessketten

Mit ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) können relativ einfach zeitliche und logische Zusammenhänge eines Geschäftsprozesses beschrieben werden. Bei EPK handelt es sich um eingerichtete Graphen, welche aus den Elementen **Funktion**, **Ereignis**, **Kontrollfluss** (gerichtete Kanten) und **Konnektoren** bestehen. [Scheer 1998, S.20]

Ereignisse beschreiben das Eintreten eines betriebswirtschaftlichen Systemzustandes, der eine Handlung auslöst oder das Ergebnis einer Funktion ist. Jeder Geschäftsprozess beginnt und endet mit einem Ereignis.

Funktionen beschreiben Tätigkeiten bzw. Aktivitäten in einem Prozess. Funktionen und Ereignisse wechseln sich in einem EPK Prozessmodell ab, da Ereignisse Funktionen auslösen oder Funktionen Ereignisse erzeugen. Es können keine zwei Funktionen oder Ereignisse miteinander verknüpft werden. [Deelmann 2006, S. 50]

Mithilfe von logistischen Operatoren ist es jedoch möglich mehrere Funktionen oder Prozesse parallel anzuordnen. Man unterscheidet hierbei zwischen „UND“, „ODER“ sowie „XODER“ Operatoren.

Der Kontrollfluss legt die logische und zeitliche Reihenfolge zwischen Ereignissen und Funktionen fest. Diese kann mittels Operatoren in mehrere Prozessverzweigungen aufgespalten und wieder zusammengefasst werden. [Becker 2012, S. 16]

Mithilfe der Funktionsverfeinerung ist es möglich eine Prozessverfeinerung darzustellen, also Prozesse welche sich auf einer anderen Prozessebene befinden. Ein Prozessmodul ist ein sinnvoll und logisch eindeutig abgegrenzter Funktionsbereich eines Geschäftsprozesses. Dieser kann jedoch mithilfe von Prozessschnittstellen mit anderen Prozessen verknüpft werden. [Becker 2012, S. 17]

Ereignisgesteuerte Prozessketten sind sehr auf die Prozesssicht fokussiert. Dies kann als nachteilig angesehen werden, wenn in Geschäftsmodellen Organisationseinheiten, Produkte und Kunden ebenso im Fokus der Modellierung stehen sollen. [Deelmann 2006, S. 55]

Die folgende Tabelle 3 veranschaulicht die für EPK verwendeten Symbole.

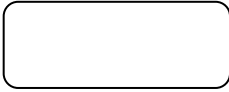
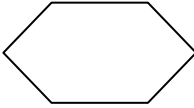

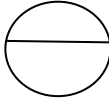
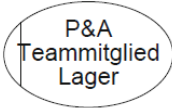

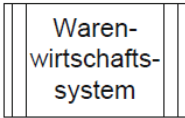
Element	Symbol
Funktion	
Ereignis	
Kontrollfluss	
Konnektoren	
Organisatorische Rolle	
Organisatorische Stelle	
Anwendungssystem	

Tabelle 3: Übersicht der Symbole der EPK
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Becker 2012, S.16]

2.4.2 Petri-Netze

Petri-Netze sind aus der allgemeinen Systemtheorie abgeleitet. Sie eignen sich zur Beschreibung dynamischer, paralleler Prozesse. Kennzeichnend ist die Abbildung der Nebenläufigkeit von Prozessen, wobei die Kausalanordnung das Zusammenwirken der einzelnen Prozesse bestimmt. [Mertins 1994, S.162]

Das Gefüge eines Prozesses wird in Petri-Netzen durch gerichtete Kanten sowie Bedingungen und Ereignisknoten beschrieben. Dynamische Vorgänge werden durch Marken dargestellt. Bedingungen werden je nach Systemtyp als Stellen, Zustände oder Plätze bezeichnet und beschreiben den Zustand eines Systems. Ereignisse werden auch Transitionen oder Aktionen genannt. Diese bewirken den Übergang zwischen zwei Bedingungen.

Zwei Bedingung oder Ereignisknoten dürfen nicht miteinander verbunden werden. Man unterscheidet zwischen vier Petri-Netz-Typen welche sich lediglich in der Art der Markierungen mit Marken unterscheiden. Die vier Petri-Netz-Typen sind:

- Stellen-Transitionen-Netze
- Bedingungs-Ereignis-Netze
- Prädikat-Transitionen-Netze
- Kanal-Instanz-Netze [Mertins 1994, S. 162 -163]

Diesen Netz-Typen werden in Tabelle 4 die jeweiligen Begrifflichkeiten zugeordnet.

In **Stellen-Transitionen-Netzen** besitzt jede Stelle eine bestimmte Kapazität. Ist keine Kapazität ausgewiesen hat die Stelle eine Kapazität von eins oder unendlich. Der Zustand einer Stelle wird von Marken, in Form von Punkten beschrieben. Die Mindestanzahl an Marken einer Stelle wird durch die Kapazität beschrieben. Stellen werden durch Kreise dargestellt und repräsentieren passive Elemente. Ist keine Gewichtung an den Kanten angegeben hat diese den Wert eins. Transitionen werden als Rechtecke modelliert.

Wenn alle Stellen, welche in eine Transition führen so viele Marken besitzen, wie die Gewichtungen der Kanten fordern und wenn alle nachgelagerten Stellen so viele freie Kapazitäten aufweisen, wie von den Gewichtungen der Kanten gefordert werden, so bezeichnet man diese Transition als „schaltbar“ oder „aktiv“.

Schaltet man die Transition, so werden die von den Kanten geforderten Marken der vorgelagerten Stellen verbraucht und in den nachgelagerten Marken erzeugt.

Enthält ein Petri-Netz keine aktiven Transitionen, wird dieses als „tot“ bezeichnet. „Sicher“ wird ein Petri-Netz bezeichnet, wenn zu jeder Zeit an jeder Stelle maximal „b“ Marken liegen, wobei die Begrenzung „b“ eine Sicherheit darstellt, welche im Nachhinein festgelegt wird. Petri-Netze können einen festen Start- und Endzeitpunkt haben oder Schleifen beinhalten. [Becker 2012, S. 20-25]
















Petri-Netz Typ	Elemente			
Bedingungs-Ereignis-Netz	<i>Bedingung</i>  Belegung mit max. 1 Marke	<i>Marke</i> 	<i>Ereignis</i> 	<i>Kante</i> 
Stellen-Transitionen-Netz	<i>Stelle</i>  Belegung mit max. n Marken	<i>Marke</i> 	<i>Transition</i> 	<i>Kante</i>  Gewicht
Prädikat-Transitionen-Netz	<i>Stelle</i>  Belegung mit max. n Marken	<i>Marke</i>  Attribut der Marken (=Prädikate)	<i>Transition</i>  Prüfung der Markenattribute	<i>Kante</i> 
Kanal-Instanz-Netz	<i>Kanal</i> 		<i>Instanz / Netmodul</i> 	<i>Kante</i> 

Tabelle 4: Symbole der Petri Netze

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Mertins 1994, S.163]

Bei **Bedingungs-Ereignis-Netzen** werden Bedingungen mit genau einer anonymen Marke belegt.

Bei **Prädikat-Transitionen-Netzen** werden individuelle Marken verwendet. Das Schalten dieser Transitionen hängt dann zusätzlich von der Art der Marken ab. [Mertins 1996, S. 162-169]

Mithilfe von unterschiedlichen Färbungen der Marken lassen sich einzelnen Marken spezifische Eigenschaften zuordnen. Des Weiteren können Petri-Netze um Zeitangaben für die einzelnen Stellen, Transitionen und Marken erweitert werden. [Becker 2012, S. 20-25]

Kanal-Instanz-Netze bestehen aus einem passiven (Kanal) und einem aktivem Knoten (Instanz). Die Kanäle dienen der Beschreibung von Informationsbeständen und -wegen des Systems. Die Instanzen stehen für die Funktionen und Aktivitäten. [Gadatsch 2012, S. 73]

Petri-Netze eignen sich zur Beschreibung von Funktionen, Prozessen, Abläufen und Entscheidungen. Vorteil der Petri-Netze ist ihre gute mathematische Analysierbarkeit. Nachteilig wirkt sich ihre schlechte Interpretierbarkeit für nicht geübte Nutzer aus. [Mertins 1994, S. 168]

2.4.3 Integrierte Unternehmensmodellierung

Bei der Integrierten Unternehmensmodellierung (IUM) handelt es sich um einen objektorientierten Ansatz zur Modellierung von Unternehmen. Dieser Ansatz wird von zwei Sichten auf das Unternehmen geprägt. Zum einen durch die funktionsbezogene Gliederung, die sich an der Wertschöpfungskette orientiert. Zum anderen durch die Teilsysteme, die sich durch ihre Aufgaben und den Verdichtungsgrad von Informationen unterscheiden. [Rohloff 2009, S. 94]

Kern der Modellierung sind die Objektklassen Produkt, Auftrag und Ressource (Abbildung 4 und 5). Diese werden in einem Aktivitätsmodell miteinander verknüpft. Hierbei stehen fünf Verbindungselemente zur Verfügung, welche in Tabelle 5 dargestellt werden.





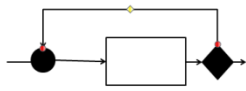
Sequentielle Verknüpfung	
Parallele Verknüpfung	
Fallunterscheidung	
die Zusammenführung	
Schleife	

Tabelle 5: Verbindungselemente IUM
 Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Mertins 1994, S. 188]

Das Ziel bzw. Ergebnis jeden Geschäftsprozesses besteht in der Erbringung einer Leistung in Form von Produkten oder Diensten für externe und interne Kunden. [Abecker 2002, S. 50]

Zur Objektklasse „Produkt“ zählen alle Objekte, welche durch das Unternehmen verkauft werden sowie alle Bestandteile, welche in das zu verkaufende Objekt einfließen. Hierzu zählen Rohstoffe, Zwischenprodukte sowie Dienstleistungen.

Die Objektklasse „Auftrag“ beinhaltet alle Informationen, welche aus Sicht der Planung, Steuerung oder Überwachung der Unternehmensprozesse relevant sind. Hierzu zählen interne und externe Kundenaufträge.

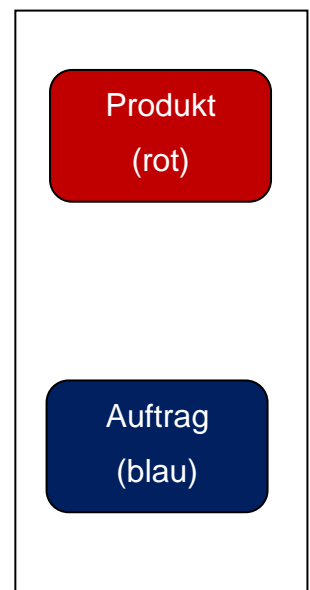


Abbildung 4: Symbole IUM 1
 Quelle: eigene Darstellung.

Die Objektklasse „Ressource“ stellt alle notwendigen Leistungsträger in einem Unternehmen dar, welche erforderlich sind um Tätigkeiten im Unternehmen auszuführen. Hierzu zählen Mitarbeiter, Geschäftspartner, Dokumente, Wissensgebiete sowie Informationssysteme oder Betriebsmittel.

„Aktionen“ beschreiben Tätigkeiten, welche die einzelnen Objekte verknüpfen oder Änderungen der Systemzustände bewirken. [Mertins 2009, S.85]

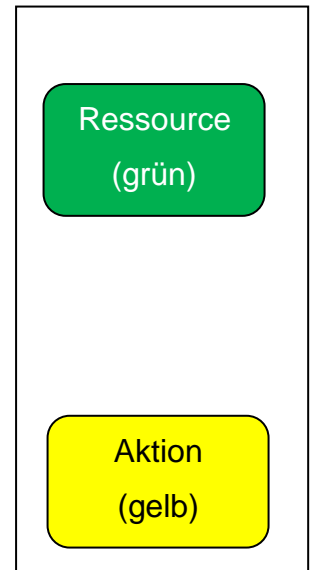


Abbildung 5: Symbole IUM 2
Quelle: eigene Darstellung.

Die Methode der integrierten Unternehmensmodellierung ermöglicht eine ganzheitliche Sichtweise auf ein Unternehmen. Durch die Einbeziehung der Klassen „Produkt“, „Ressourcen“ und „Auftrag“ lassen sich neben dem Prozess ebenso Organisationseinheiten, Produkte oder Kunden abbilden. [Mertins 1994, S. 188]

3 Kapazität

3.1 Definition

Der Kapazitätsbegriff wird in der betriebswirtschaftlichen Literatur vieldeutig und vor dem Hintergrund unterschiedlichster Vorstellungsinhalte verwendet. Allgemein kann die Kapazität als Leistungsvermögen einer wirtschaftlichen oder technischen Einheit beliebiger Art, Größe und Struktur in einem Zeitabschnitt bezeichnet werden. Sie dokumentiert also ein Vermögen zur technischen oder wirtschaftlichen Leistungserbringung, durch Verwendung eines durch Anlagen und Personal gebildeten Potenzials in einer Periode. [Kern 1962, S. 7-23]

Um falschen Aussagen vorzubeugen muss diese allgemeine Definition um den Objektumfang, die Bemessungsperiodenlänge, das Leistungsvermögen und die Maßeinheit erweitert werden. [Kern 1993, S.1055]

Die Bemessungsperiodenlänge gibt vor für welchen Zeitraum das Leistungsvermögen gemessen wird. Sie resultiert aus der Begrenzung des Leistungspotentials, welches die Obergrenze der Potentialfaktornutzung bildet.

Die Totalkapazität ist der Gesamtzeitraum innerhalb dessen eine Produktiveinheit zur Leistungsabgabe zur Verfügung steht. Die Größe einer Totalkapazität ist abhängig von den konstruktiven Eigenschaften, den geplanten Leistungsgeschwindigkeiten sowie den Anlagen-erhaltungsmaßnahmen. [Layer 1979, S. 871-882]

Die Periodenkapazität wird auf einen Tag, einen Monat oder ein Jahr bezogen. Sie ist das mengenmäßige Leistungsvermögen während einer Planperiode, unter der Voraussetzung, dass die notwendigen Produktionsfaktoren im einsatzbereiten Zustand sind. Die Länge der zu wählenden Periodenkapazität ist abhängig von der Dynamik des Systems. Bei einer hohen Dynamik sind die Zeitspannen für die Periodenkapazität möglichst kurz zu wählen. Bei vielen Unterbrechungen im Prozessablauf oder häufigen Wechseln im Leistungsprogramm kommt es zu einer größeren Fluktuation im Faktorbestand. [Kern 1975, Seite 854]

Des Weiteren wird zwischen technischen und wirtschaftlichen Kapazitätsbegriffen unterschieden. Bei der Bildung von technischen Kapazitätsbegriffen wird unterstellt, dass allein technische Größen der Produktion das Leistungsvermögen bestimmen. [Clar 1964, S. 31]

Die Maximalkapazität bezeichnet die Obergrenze des Leistungsvermögens bestimmter Art und Güte in einer Zeiteinheit eines Betriebsteils. Sie wird durch dessen technische Beschaffenheit festgelegt.

Die Normalkapazität resultiert aus der Tatsache, dass Betriebsmittel auf eine bestimmte durchschnittliche, auf Dauer aber unter Berücksichtigung von Nutzungspausen zu haltende, technisch normale Leistungsfähigkeit hin konstruktiv ausgelegt werden. [Gutenberg 1983, S. 77]. Dies beruht auf dem REFA Ansatz des „Normalen“, dessen Bewertungsbasis Beobachtungsreihen von menschlicher und maschineller Arbeitsleistung sind. [Clar 1964, S. 33]

Die Minimal- oder Mindestkapazität kennzeichnet eine Mindestleistungsbeanspruchung die für eine technische Einrichtung gefordert werden muss, damit sie arbeitsfähig ist. [Gutenberg 1983, S.77]

Die Optimalkapazität bezeichnet das wirtschaftlich optimale Leistungsvermögen. Bei der Optimalkapazität fallen die geringsten Kosten und der größtmögliche Gewinn je Leistungseinheit an. [Wille 1985, S. 54]

3.2 Kapazitätsfaktoren

Die Objekte der betrieblichen Kapazität ergeben sich aus den Potentialfaktoren. Hierunter fallen zum einen die menschliche Arbeitskraft sowie Betriebsmittel welche die anlagenbedingte Kapazität abbilden. Sie werden durch die Sekundärfaktoren erweitert. Zu diesen zählen die Erzeugnisse durch welche die Kapazitäten erstellt werden. Betriebsstoffe, Energie, die Fertigungsorganisation sowie das abstrakte Kapital gehören zu diesen Faktoren. [Kern 1962, S. 7-23].

Betriebsmittel sind alle Anlagen und Einrichtungen eines Unternehmens, welche der Leistungserstellung dienen. Zu ihnen zählen Maschinen, Werkzeuge, Apparate, Vorrichtungen, Grundstücke und Gebäude. Wobei letztere für die vorliegende Arbeit nicht von Bedeutung sind, da diese keinen Einfluss auf den eigentlichen Leistungsvorgang haben, sondern lediglich den äußeren Rahmen darstellen. Die Leistungsfähigkeit einer technischen Einrichtung wird durch deren Konstruktion festgelegt. Diese ist aufgrund ihrer Bindung an physikalische Gesetze und ihrer Unabhängigkeit von menschlichen Einflüssen bedeutend exakter als die menschliche Arbeitsleistung. [Clar 1964, S. 28]

Die menschliche Leistungsfähigkeit lässt sich anhand subjektiver Daten nicht immer bestimmen. Die Unberechenbarkeit physischer Momente sowie die Labilität psychologischer Vorgänge erschweren die Ermittlung der menschlichen Leistungsfähigkeit. [Kern 1962, S. 24]

Daher ist zur Ermittlung der Kapazität eine Normalleistung zu bestimmen, welche unabhängig vom Leistungsvermögen einer einzelnen Person erhoben wird. [Wille 1985, S. 34]

Um zu erkennen inwieweit die menschliche Arbeitskraft Einfluss auf die Kapazität hat, ist zu untersuchen in welcher Art und Weise die Arbeit Einfluss auf die Produktion sowie auf den Leistungserstellungsprozess nimmt. Hierzu werden zwischen direkt am Produktionsprozess mitwirkenden produktiven Arbeitern und indirekt für die Produktion benötigter Hilfskräfte unterscheiden. Die zweite Gruppe hat nur geringe kapazitätsbeeinflussende Wirkung. Es wird unterstellt, dass bei normalen Betriebsverhältnissen die Fertigung so abgestimmt ist, dass die Arbeiter den Anforderungen gerecht werden. Eine kapazitätsbeeinflussende Wirkung bekommt die menschliche Arbeitskraft dagegen dort, wo sie als ins Gewicht fallende Potentialgröße auftritt. Beispiele sind manuelle Fertigungsverfahren oder Tätigkeiten des Arbeitenden, die eng verbunden sind mit technischen Arbeitsvorgängen. [Clar 1964, S. 28]

Ebenfalls ist bei der Messung der menschlichen Arbeitskraft die individuelle Eignung eines Arbeiters für einen Vorgang zu berücksichtigen. Hierunter versteht man die seelische und körperliche Befähigung sowie den Leistungswillen einen bestimmten Vorgang auszuführen. Da diese Werte nur schwer quantifizierbar sind, ist eine zuverlässige Vorausberechnung wie bei den technischen Einrichtungen nur schwer möglich. [Stützle 1987, S. 40]

Die menschliche Arbeitskraft sowie die Betriebsmittel sind als ursprüngliche Energiequellen unmittelbare Träger des Leistungsvermögens. Die Leistungsbeeinflussung durch die Organisation entscheidet darüber inwieweit es gelingt dieses Potential zu realisieren. Sie hat das Ziel die Einsatzgüter so zu organisatorischen Einheiten zusammenzuführen, dass eine wirtschaftliche Fertigung gewährleistet wird.

Da die Organisation in den meisten Fällen von der jeweiligen Bestform abweicht ist zwischen der real möglichen und tatsächlich zur Anwendung kommenden Organisation zu unterscheiden. [Clar, 1964 S. 44]

Die tatsächliche Organisation stellt einen Nutzungsgrad der Kapazität dar, welcher noch versteckte Leistungsreserven beinhaltet.

Den Anteil der Organisation an der Kapazität mengenmäßig zu bestimmen ist nicht möglich, da diese lediglich ein strukturbildendes Element ist und nicht fähig ist eigenständig eine Leistung hervorzubringen. Dennoch ist die Bedeutung der Organisation für die Kapazität nicht zu unterschätzen, da oftmals durch reine Umstrukturierungsmaßnahmen Verbesserungen realisiert werden können. [Clar 1964, S. 46]

Des Weiteren wird unterschieden ob diese Produktionsfaktoren in der Vor- oder Endkombination in den Erzeugungsprozess eingebracht werden. Produktionsfaktoren in der Vorkombination sind einzelne Arbeitsplätze, Maschinengruppen, Lager, Abteilungen sowie Unternehmungen und Branchen in ihrer Gesamtheit, welche die Bereitschaft zur Erbringung einer bestimmten Leistung herstellen. Durch ihre Kombination und dem Hinzufügen weiterer Faktoren werden diese in die Endkombination überführt. [Kern, 1990]

3.3 Qualitative und Quantitative Kapazität

Bei der Differenzierung hinsichtlich des Leistungsvermögens werden zwei Arten unterscheiden: qualitative und quantitative Kapazität.

Quantitative Kapazität

Bei der quantitativen Kapazität steht das mengenmäßige Leistungsvermögen pro Zeiteinheit im Mittelpunkt der Betrachtung.

Hierbei ist zwischen quantitativer Kapazität der Verbrauchs- und Potentialfaktoren zu unterscheiden.

Verbrauchsfaktoren werden während des Produktionsvorgangs verbraucht, da sie zum Bestandteil des Produktes geworden sind oder durch Ihre Entwertung der Produktionsvorgang erst ermöglicht wird. [Stützle 1987, S.38]

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Kapazität der Verbrauchsfaktoren ausreichend groß ist und deshalb vernachlässigt werden kann.

Die quantitative Kapazität eines Potentialfaktors gibt die maximal realisierbare Anzahl von Erzeugnissen bestimmter Art innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes an und kann, wie in Abbildung 6 dargestellt wird, ermittelt werden.

Quantitative Kapazität eines Potentialfaktors	=	maximal mögliche Ausbringungsmenge/ Zeiteinheit	X	maximal möglichen Einsatzzeit
---	---	---	---	-------------------------------------

Abbildung 6: Eigenschaften der quantitativen Kapazität
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Stützle 1987, S. 18]

Maßeinheit für die quantitative Kapazität ist Stück/Periode. Dies gilt lediglich bei Einproduktunternehmen oder bei Mehrproduktunternehmen, wenn es sich um eine vollständige parallele Fertigung mehrerer Erzeugnisse handelt. Wenn mehrere Erzeugnisse auf denselben Betriebsmitteln erstellt werden, muss ein Typenvertreter oder ein indifferentes Erzeugnis herangezogen werden. [Clar 1964, S. 98]

Bei beiden Methoden werden Äquivalenzkennziffern gebildet. Bei der Methode des Typenvertreter wird ein reales Produkt als Basisprodukt gewählt. Alle anderen Produkte werden dann über die Äquivalenzkennziffer auf dieses Basisprodukt umgerechnet.

Diese gibt die Inanspruchnahme der kapazitiven Einheit im Verhältnis zum Basisprodukt an. Bei der Methode des indifferenten Erzeugnisses wird ein fiktives Durchschnittserzeugnis als Basisprodukt genutzt. [Weigert 2004, S.5]

Die Potentialkapazität einer Betriebseinheit gibt das Leistungsvermögen einer Betriebseinheit produktunabhängig an. Diese beschreibt das Leistungsvermögen auf Basis von Input-bezogenen Messgrößen. Hier ist es sinnvoll technische Maßeinheiten wie z.B. Nm/Periode oder m³ Fördermenge/Periode zu verwenden. Wird die Kapazität maßgebend von den Betriebsmitteln bestimmt, ist es ebenfalls möglich die maximal mögliche Einsatzzeit als Hilfsmaßstab zu verwenden. Maßeinheit ist in diesem Fall der Maschinenstundensatz. [Stützle 1987, S. 37-38]

Zur Ermittlung der quantitativen Kapazität des gesamten Produktionssystems ist es notwendig zunächst die Kapazität des elementaren Produktionssystems zu ermitteln. Hierunter versteht man die kleinste betriebliche Einheit die selbständig produktiv tätig sein kann. Bei der Berechnung der Kapazität des elementaren Produktionssystems ist darauf zu achten, dass diese nicht durch einfache Addition der Kapazitäten der einzelnen Produktionsfaktoren erfolgen darf. Vielmehr muss überprüft werden welchen Einfluss welcher Potentialfaktor auf die drei Einflussgrößen des gesamten elementaren Produktionssystems hat. [Stützle 1987, S. 31-34] Beispielsweise könnte eine maximal mögliche Einsatzzeit eines Betriebsmittels 24 Stunden täglich betragen. Dieses kann jedoch durch die menschliche Arbeitskraft eingeschränkt werden.

Können mehrere homogene elementare Produktionssysteme zu einer Fertigungsstufe zusammengefasst werden, kann die quantitative Kapazität der Fertigungsstufe, wie in Abbildung 7 aufgezeigt wird, berechnet werden.

Quantitative Kapazität eines Potentialfaktors	=	Maximale (ökonomische) Intensität	×	Maximal nutzbarer Kapazitäts- querschnitt	×	maximal mögliche Einsatzzeit
---	---	---	---	---	---	------------------------------------

Abbildung 7: Quantitative Kapazität einer Fertigungsstufe
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Stützle 1987, S. 34]

Um die gesamte Kapazität des Fertigungssystems zu ermitteln dürfen die Kapazitäten der einzelnen Bereiche nicht zusammengefasst werden.

In einer Reihenfertigung besitzt das Produkt nach jeder Fertigungsstufe einen anderen Reifegrad. Maßeinheit für die Kapazität des Fertigungssystems ist die Erzeugung des elementaren Produktionssystems mit dem höchsten Reifegrad. Die Kapazität der Fertigungssystems hängt von den Einflussfaktoren der quantitativen Kapazität der elementaren Produktionssysteme ab (maximal mögliche Ausbringungsmenge/Zeiteinheit und maximal mögliche Einsatzzeit). Die Produktionssysteme mit der geringsten Inanspruchnahme jedes Faktors bestimmen die Kapazität des Fertigungssystems. [Stützle 1987, S. 36]

Qualitative Kapazität

Steht die Qualität eines Produktionsergebnisses im Mittelpunkt der Betrachtung so spricht man von qualitativer Kapazität.

Die qualitative Kapazität umfasst drei Komponenten:

- Art und Güte des Leistungsvermögens
- Flexibilität bezüglich Art und Güte der Leistung (qualitative Flexibilität)
- Flexibilität bezüglich der Leistungsmenge (quantitative Flexibilität)

Die Vorbedingung um bestimmte Potentiale für einen Verwendungszweck einzusetzen, ist es die Produkte in einer speziellen Beschaffenheit zu fertigen. Die Art und Güte des Leistungsvermögens der Potentiale entscheidet darüber welche Produkte gefertigt werden können.

Die qualitative Flexibilität drückt die Fähigkeit eines Faktors aus, unterschiedliche Werkverrichtung und Arbeitsgänge auszuführen.

Die quantitative Flexibilität bezeichnet die Möglichkeit die Ausbringungsmenge zu variieren. [Wille 1985, S. 25]

Bei den Verbrauchsfaktoren zeigt die qualitative Kapazität die potentiellen Verwendungsmöglichkeiten des Faktors. Die qualitative Kapazität eines Rohstoffes ist z.B. höher wenn er in verschiedene Produkte und in verschiedenen Produktionsprozessen eingesetzt werden kann. [Stützle 1987, Seite 14]

Die qualitative Kapazität eines Potentialfaktors lässt sich durch die Anzahl der maximal realisierbaren Erzeugnisarten oder Produktionsvorgänge quantifizieren.

Die qualitative Kapazität des Faktors „menschliche Arbeitsleistung“ kommt durch dessen Geschicklichkeit, Begabung, Sorgfältigkeit sowie durch seine fachliche Eignung zum Ausdruck. Ist ein Mitarbeiter z.B. in der Lage mehrere Produktarten zu erstellen oder besitzt er die Fähigkeit verschiedene Betriebsmittel zu bedienen so hat er eine hohe qualitative Kapazität. Ebenfalls steigt diese mit der Güte des erzielten Ergebnisses. Die qualitative Kapazität eines Betriebsmittels lässt sich mit der Höhe der maximal herstellbaren Erzeugnisse und deren Güte definieren. [Stützle 1987, S.40]

Die qualitative Kapazität eines elementaren Produktionssystems ergibt sich aus der Anzahl der maximal realisierbaren Produktionsvorgänge für bestimmte Erzeugnisse, für die der andere Potentialfaktor die notwendigen Ergänzungsfaktoren vornehmen kann. [Stützle 1987, S. 45]

Bei der Ermittlung der qualitativen Kapazität von Produktionssystemen höherer Ordnung muss zunächst zwischen Reihen- und Werkstattfertigung unterschieden werden. Bei der Reihenfertigung ergibt sich die qualitative Kapazität durch die maximal herstellbaren Erzeugnisarten. Hierbei sind nur jene Produktionsvorgänge jeder Produktionsstufe relevant, welche in Verbindung mit den umliegenden Produktionsvorgängen zur Herstellung eines Erzeugnisses führen. Produktionsarten, welche keine oder nur unvollständige Ergänzungen innerhalb der Reihenfertigung finden werden nicht berücksichtigt. [Stützle 1987, S.40].

Bei der Werkstattfertigung werden alle realisierbaren Produktionsvorgänge berücksichtigt. Wenn ein bestimmter Produktionsvorgang in einem elementaren Produktionssystem nicht umsetzbar ist, ist es eventuell möglich, dass dieser in einem anderen elementaren Produktionssystem innerhalb der Werkstatt vollzogen werden kann. [Stützle 1987, S. 46-47].

3.4 Kapazitätsplanung und -steuerung

Die Kapazitätsplanung und -steuerung umfasst alle Aufgaben die notwendig sind, um die zur Durchführung einer Arbeitsaufgabe benötigten Kapazitäten zur Verfügung zu stellen. Zu beachten ist, dass diese in der erforderlichen Anzahl und Qualität am richtigen Ort zur Verfügung gestellt werden.

Das Hauptproblem der Kapazitätsplanung besteht in der Anpassung des Kapazitätsbestands an den Kapazitätsbedarf. Der Kapazitätsbedarf wird als qualitative und quantitative Kapazität die zur Durchführung einer Arbeitsaufgabe erforderlich ist definiert. [REFA 1991, S. 182]

Der Kapazitätsbedarf wird aus der Bedarfseinschätzung abgeleiteter Absatzmengen zukünftiger Perioden festgelegt. Der Kapazitätsbestand gibt das gesamte Leistungsvermögen einer Kapazitätseinheit an. [Corstens 2012, S. 380]

Die quantitative Dimensionierung der Kapazität erfordert Entscheidungen inwieweit Nachfrageschwankungen und Nachfragespitzen Einfluss auf die Kapazität haben. Unternehmen welche lagerfähige Güter herstellen, können Nachfragespitzen beispielsweise aus dem Lager bedienen. Die Kapazität richtet sich in diesem Fall an der durchschnittlichen Nachfrage aus.

Besonders wichtig ist die Einbindung der Fertigungseinheiten in den gesamten Betrieb, da die Gesamtkapazität durch den Engpassektor gekennzeichnet wird. Die qualitative Kapazität ist so zu gestalten, dass das Produktionssystem den Anforderungen hinsichtlich der Flexibilität der abzugebenden Leistungen gerecht werden kann. [Steven 1995, S. 876]

Da die Kapazitätsgestaltung einen Teil der Unternehmensplanung darstellt ist zu berücksichtigen, dass diese in Zusammenhang mit anderen strategischen Entscheidungen getroffen wird. Hierunter fallen z.B. Entscheidungen hinsichtlich des Produktionsprogramms oder der Wettbewerbsstrategie. [Steven 1995, S. 875]

In der Kapazitätsplanung sind Variable enthalten, welche innerhalb eines kurzen Zeitraumes angepasst werden können. Ebenfalls sind Variable enthalten die sich auf einen längeren Zeitraum beziehen. Aus diesem Grund ist eine Untergliederung der Kapazitätsplanung hinsichtlich ihrer Fristigkeit sinnvoll.

Die strategische Kapazitätsplanung beinhaltet die langfristige Wachstumsplanung der betrieblichen Potentiale in Abstimmung mit den Anforderungen, welche sich aus geplanter Entwicklung des Produktprogramms ergeben. Diese Potentialplanung zeigt auf welche Veränderungen des Personalbestandes sowie der Betriebsmittel erforderlich sind, um die Anforderungen des langfristig geplanten Produktprogrammes zu erfüllen. Betriebsmittel, welche die qualitativen Anforderungen der künftigen Produkte nicht erfüllen sind zu ersetzen. Ist es mit den gegebenen Betriebsmitteln nicht möglich das geplante mengenmäßige Wachstum abzudecken sind Erweiterungsinvestitionen vorzunehmen. [Wille1985, S. 12-13]

Auf der operativen Ebene werden Entscheidungen hinsichtlich der optimalen Anpassung der Produktionsanlagen an die Produktionsanforderungen innerhalb der strategischen Rahmenbedingungen getroffen. Hierbei stellen die gegebenen Kapazitäten den Rahmen für die Art sowie die mengenmäßige Zusammensetzung des Produktionsprogrammes dar. Innerhalb der Kapazitätsbelegungsplanung und der Terminplanung findet eine genaue Zuordnung des Produktionsprogramms auf die Kapazität statt. [Wille 1985, S. 14]

Zu den Planungsbereichen der Kapazitätsplanung zählen die Betriebsmittelplanung, die Personalplanung, die Standortplanung sowie die Layoutplanung. Da zwischen den einzelnen Bereichen Interdependenzen bestehen dürfen diese nicht autark betrachtet werden. [Stützle 1987, S.53]

Innerhalb dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Standortwahl bereits getroffen ist.

Die Aufgabe der Personalwirtschaft ist die Personalkapazität bereitzustellen um den qualitativen und quantitativen Anforderungen gerecht zu werden. Die Personalkapazität setzt sich aus der Anzahl und der Arbeitszeit der verfügbaren Arbeitskräfte sowie deren Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft zusammen. Der Einsatz der Personalkapazität hat so zu erfolgen, dass das vorhandene Potential optimal genutzt wird. Betriebsmittel in qualitativer und quantitativer Art bereitzustellen ist Aufgabe der Anlagenwirtschaft. [Steven 1995, S. 878]

3.5 Prozess der Kapazitätsplanung

Grundlage für den Faktoreinsatz ist die Kapazitätsdimensionierung. Hierbei ist festzulegen in welcher qualitativen und quantitativen Ausprägung Produktiveinheiten bereitzustellen sind. Diese erfolgt in drei Schritten

- Ermittlung des Kapazitätsbestands
- Festlegung des Kapazitätsbedarfs
- Abstimmung des Kapazitätsbestands mit dem -bedarf

[Corstens 2012, S. 381]

3.5.1 Ermittlung des Kapazitätsbestandes

Neben der bereits in Kapitel 3.3 erläuterten Vorgehensweise zur Bestimmung des qualitativen und quantitativen Kapazitätsbestandes finden sich in der Literatur eine Vielzahl weiterer Ansätze zur Bestimmung des Kapazitätsbestands.

Die Ansätze zur Bestimmung des Kapazitätsbestands klassifiziert Koo anhand der Berücksichtigung von Zufallseinflüssen sowie anhand der Berücksichtigung des Zeitverhaltens. Dies wird in Abbildung 8 dargestellt.

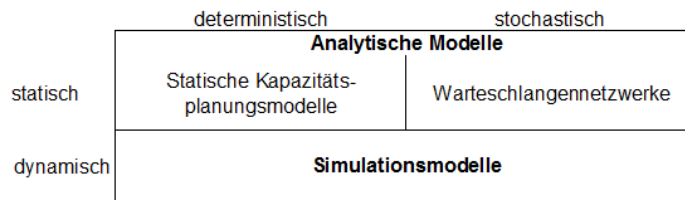


Abbildung 8: Methoden zur Ermittlung des Kapazitätsbestand
 Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Weigert 2004 , S.13]

Da die mittlere Kapazitätsauslastung im Fokus dieser Arbeit steht werden im Folgenden statische Modelle zur Bestimmung des Kapazitätsbestands erläutert. Simulationsmodelle werden nicht weiter untersucht.

3.5.1.1. Deterministische Modelle

Ansatz von Gallenmüller und Hülsenberg

Gallenmüller und Hülsenberg unterscheiden in ihrem Ansatz bezogen auf die Anlagenkapazität vier Einflussfaktoren. Das spezifische Leistungsvermögen der Eigenanlage, die Anzahl der vorhandenen Anlagen, den Engpass sowie die Struktur der technischen Prozesse. Bei Letzerem wird zwischen Parallelanordnung, Reihenanordnung sowie einer Mischform aus beiden Anordnungen unterschieden.

[Gallenmüller 1974, S. 22-51]

Für das Leistungsvermögen der Einzelanlage unterscheidet der Ansatz zwischen den Kapazitätsabstufungen maximale, mögliche und geplante Kapazität.

Die maximale Kapazität „PK“ der Einzelanlage ergibt sich aus der Kalenderzeit „Tk“ (356 d/a * 24 h/d), den Nebenarbeitszeiten „Ta“ für Vorbereitungs- und Abschlussarbeiten sowie dem spezifischen Leistungsvermögen „ts“ in Zeiteinheiten/ Mengeneinheit.

Zur Berechnung der möglichen Kapazität „PKm“ werden Verlustzeiten von der Kalenderzeit „Tvp“ abgerechnet. Zu den Verlustzeiten zählen Sonn- und Feiertage, Instandhaltungszeiten, technisch bedingte Stillstandszeiten und Abzüge bei Ein- und Zweischichtbetrieben.

Bei der geplanten Kapazität PKp werden zusätzlich die ungeplanten Verlustzeiten mit einbezogen.

$$PK = Tk - Ta / Ts$$

$$PKm = Tk - Ta - Tvp / ts$$

$$PKp = Tk - Ta - Tvp - Tvn / ts$$

Sind die Anlagen parallel angeordnet so resultiert die Produktionskapazität aus der Summe der Einzelkapazitäten.

Bei der Reihenanordnung wird die Produktionskapazität durch die Anlage mit der geringsten Kapazität bestimmt. Störungen durch vor- oder nachgelagerte Stufen werden durch die ungeplante Verlustzeit TVn berücksichtigt. [Gallenmüller 1974, S. 22-51]

Ansatz nach ZVEI

Der Ansatz des Zentralverbands der elektronischen Industrie (ZVEI) verwendet die Begriffe Kapazitätsplatz sowie Kapazitätsplatzverbund.

Ein Kapazitätsplatz stellt eine Fertigungsmaschine, einen Handarbeitsplatz oder einen Verbund mehrerer Maschinen oder Handarbeitsplätze, welche nur im Zusammenhang produzieren können, dar.

Eine Kapazitätsgruppe bezeichnet mehrere Kapazitätsplätze mit identischer technischer Verrichtungsfunktion sowie identischer Leistungsfähigkeit.

Der Ansatz berücksichtigt ausschließlich die Kapazitätsplätze als kapazitätsbestimmende Faktoren. Die Verfügbarkeit von Mitarbeitern oder sekundären Produktionsfaktoren besitzen ausschließliche kapazitätsmindernde Wirkung.

Bei der Kapazität eines Kapazitätsplatzes wird zwischen der installierten und der Programmkapazität unterschieden. Bei der installierten Kapazität wird für jeden Arbeitsplatz von der gesamt verfügbaren Arbeitszeit die kapazitätsmindernde Verlustzeit abgerechnet. Hierzu zählen:

- bezahlte Ruhepausen
- Betriebsversammlungen
- Reinigungs- und Aufräumarbeiten
- Wartung, Pflege, Inspektionsarbeiten
- Maschinenschäden und Reparaturen
- Nicht in der Vorgabezeit enthaltende Rüstzeiten

Die Programmkapazität eines Kapazitätsplatzes berücksichtigt die strukturelle Zusammensetzung des Produktionsprogrammes und der davon abhängigen, kurzfristig nicht behebbaren Engpässe. Zur Bestimmung der Programmkapazität wird die Annahme getroffen, dass jeder Kapazitätsplatz durch jedes Element des Produktionsprogramms genutzt wird

Mithilfe der Kapazitätsnachfrage sowie der installierten Kapazität lässt sich die Auslastung jedes Kapazitätsplatzes berechnen. Der Kapazitätsplatz mit der höchsten Auslastung bildet den Engpass. Durch Bildung des Kehrwerts vom Auslastungswert des Engpassplatzes wird ein Multiplikator ermittelt.

Die Programmkapazität jedes Platzes resultiert dann aus der Multiplikation der jeweiligen Kapazitätsnachfrage mit dem Multiplikator.

[Weigert 2004, S. 15-16]

3.5.1.2. Stochastische Ansätze zur Leistungsanalyse

Die Verwendung stochastischer Ansätze ist hauptsächlich bei der Ermittlung der Kapazität von Fließproduktionen sinnvoll. Deterministische Ansätze würden zu einer Überschätzung der vorhandenen Produktionsrate führen. Ursächlich für dieses Problem ist die Vernachlässigung von Störungen sowie Schwankungen an Handarbeitsplätzen. Dies hat eine Blockade oder einen Materialmangel an anderen Stationen zur Folge. [Weigert 2004, S. 19-23]

Deshalb werden zur Quantifizierung der kapazitiven Wirkung dieser Effekte Warteschlangennetzwerke eingesetzt. Hier durchlaufen die Werkstücke nacheinander die einzelnen Stationen eines Systems und verlassen es am Ende der letzten Station.

Ziel dieser Ansätze ist die Ermittlung der mittleren Produktionsrate sowie die Ermittlung der mittleren Pufferbestände. Hierbei wird zwischen deterministischen sowie stochastischen Bearbeitungszeiten unterschieden. Bei deterministischen Bearbeitungszeiten wird des Weiteren unterschieden, ob an allen Stationen eine identische oder unterschiedliche Bearbeitungszeit auftritt. Die Störungszeiten werden anhand einer Zufallsverteilung über die mittlere Störungszeit sowie die mittlere Reparaturzeit berücksichtigt. Diese Störungen werden unterschieden in operationsabhängige und zeitabhängige Störungen.

Bei operationsabhängigen Störungen tritt diese in Abhängigkeit von einem Operationsschritt auf. Zeitabhängige Störungen treten unabhängig von dem Bearbeitungsschritt der Station auf. [Neumann 1996, S. 168]

Zur Modellierung einer Fließproduktion müssen folgende Annahmen getroffen werden:

- Sämtliche Ergebnisgrößen basieren auf stationären Betriebszuständen.
- Die erste Station leidet niemals unter Materialmangel.
- Die letzte Station wird niemals blockiert.
- Alle Zufallsgrößen sind unabhängig voneinander.
- Die Transportzeiten zwischen den Stationen sind vernachlässigbar.
- Die Werkstücke werden weder ausgeschleust noch zerstört.
- Jede Station befindet sich im Betriebszustand: „Arbeitend“, „Gestört“ oder im „Leerlauf“.
- Reparaturkapazität ist in ausreichendem Maße vorhanden.

Bei Systemen welche über zwei oder drei Stationen verfügen, können die mittlere Produktionsrate und die mittleren Pufferbestände über exakte analytische Verfahren bestimmt werden. Bei größeren Systemen werden approximistische Verfahren angewendet. Diese basieren darauf, dass die gesamte Linie in mehre Subsysteme aufgeteilt wird. [Weigert 2004, S. 19-23]

3.5.2 Analyse des Kapazitätsbedarfs und Kapazitätsabgleich

Um den Kapazitätsbedarf festzustellen sind Informationen zu den einzelnen Produktarten und -mengen im Planungszeitraum sowie dem Produktaufbau von Nöten. Von elementarer Bedeutung ist hierbei ob das zu produzierende Produkt bekannt ist oder aus neuen Komponenten besteht. Bei bestehenden Produkten kann der Kapazitätsbedarf über Stücklisten und Arbeitspläne bestimmt werden. Diese sind bei neuen Produkten zu schätzen und bei vorhandenen ähnlichen Produkten abzuleiten. [Corstens 2012, S 381]

Bekannt- heitsgrad des Produktes	Für die Unternehmung		Für die Branche	
	bekannt	ähnlich	bekannt	neu
	Vorgehensweise 1	Vorgehensweise 2	Vorgehensweise 3	Vorgehensweise 4
Planungsschritte				
Erstellung der Erzeugnisstruktur für die zu erstellende Leistung	Auswertung der Stückliste	Auswertung der Stückliste ähnlicher Erzeugnisse Grobentwurf der neuen Komponente	Analyse der Konkurrenzprodukte Grobentwurf der neuen Komponente	Grobentwurf des neuen Produktes und seiner Komponente
Zeitermittlung für die Komponenten	Entnahme aus Arbeitsplänen / Schätzung des Reduktionsfaktors	Arbeitsplanauswertung ähnlicher Teile Ableitung repräsentativer Kapazitätsbedarfsprofile Schätzung des Reduktionszeitfaktors Grobe Schätzung für neue Komponenten Schätzung des Reduktionszeitfaktors	Für neue Komponente vgl. Vorgehensweise 2 Genauigkeit der Ermittlung hängt vom Novitätsgrad der Komponente ab	Für neue Komponente vgl. Vorgehensweise 2 Genauigkeit hängt vom Novitätsgrad der Komponente ab (tendenziell geringer als bei Vorgehensweise 3)

Abbildung 9: Vorgehensweise zur Ermittlung des Kapazitätsbedarfs
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Corstens 2012, S 382]

Abbildung 9 stellt die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der Bestimmung des Kapazitätsbedarfs, für ein Erzeugnis abhängig von Bekanntheitsgrad dar.

Die Kapazitätsterminierung bildet zusammen mit der Durchlaufterminierung die Terminplanung. Aufgabe der Terminplanung ist es Aufträge und Arbeitsvorgänge auf die entsprechenden Produktiv-einheiten zu verteilen.

Hierzu werden in der Durchlaufterminierung die Anfangs- und Endtermine der durchzuführenden Arbeitsvorgänge bestimmt. Kapazitätsrestriktionen werden hier noch nicht beachtet. Dies ist Aufgabe der Kapazitätsterminierung. Hierbei werden Kapazitätsangebot und -nachfrage periodenmäßig gegenübergestellt. Dies wird in Abbildung 10 dargestellt. [Corstens 2012, S 532]

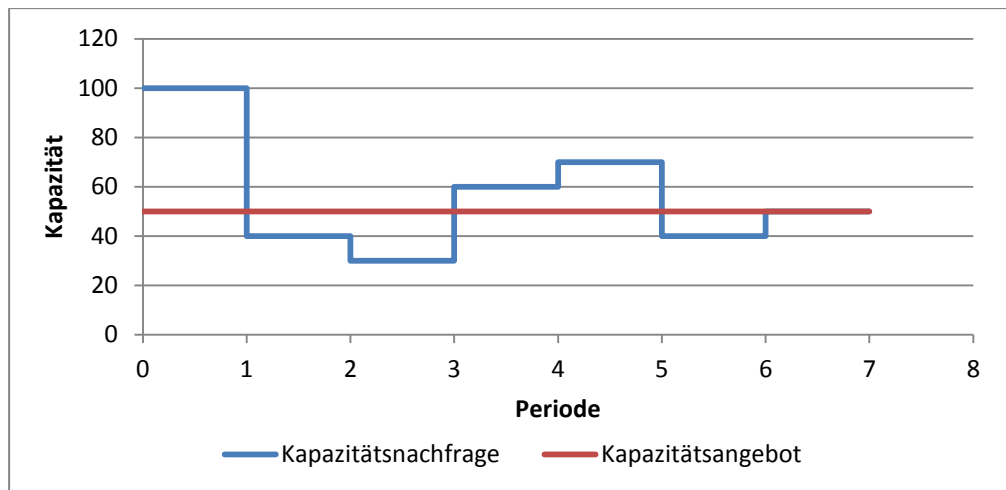


Abbildung 10: Kapazitätsabgleich
 Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Corstens 2012, S. 533]

Ist die Nachfrage größer als das Angebot handelt es sich um eine Kapazitätsunterdeckung, bei welcher Opportunitätskosten für nicht angenommene Aufträge entstehen können. Ist das Angebot größer als die Nachfrage handelt es sich um eine Kapazitätsüberdeckung, bei welcher Leerkosten für nicht genutzte Kapazitäten entstehen.

Bei Diskrepanzen ergibt sich sowohl die Möglichkeit der Anpassung der Nachfrage an das Angebot sowie der Anpassung des Angebots an die Nachfrage. [Corstens 2012, S 532 f.]

4 Wandlungsfähigkeit

4.1 Definition

Der Begriff der Wandlungsfähigkeit wurde in der Wissenschaft erst seit kurzem häufig diskutiert. Hierbei sind verschiedene Definitionsansätze entstanden aus denen sich folgende charakterisierende Merkmale der Wandlungsfähigkeit herausbilden:

- Wandlungsfähigkeit befähigt ein System sich an geplante und ungeplante Ereignisse anzupassen.
- Kennzeichen der Wandlungsfähigkeit ist ihre Mehrdimensionalität. Es besteht keine Einschränkung hinsichtlich der Zieldimensionen der Reaktion.
- Das notwendige Maß an Wandlungsfähigkeit ergibt sich aus der Stärke der Turbulenzen sowie der Komplexität und Dynamik der Einflussgrößen.
- Die notwendige Anpassungsgeschwindigkeit eines Systems resultiert aus der Zeit zwischen dem ungeplanten Eintreffen eines Ereignisses sowie der spätmöglichen Umsetzung.
- Kennzeichen der Wandlungsfähigkeit ist eine eigene Aktionsfähigkeit.
- Wandlungsfähigkeit setzt sich aus der Flexibilität und Reaktionsfähigkeit des Unternehmens zusammen.
- Der Wandel als Umsetzung der Wandlungsfähigkeit bedeutet eine sprunghafte Veränderung im Unternehmen.
- Der Wandel ist niemals beendet. [Dürschmidt 2001, S. 11]

Diese Aspekte fasste Dürschmidt dann zur folgenden Definition zusammen:

„Wandlungsfähigkeit beschreibt die Fähigkeit von Unternehmen sich hinsichtlich Anforderungen des turbulenten Umfeldes anzupassen, die nicht unbedingt geplant und vorhersehbar waren.

Die Dimensionen, in denen Veränderungen stattfinden, müssen nicht vorher bekannt gewesen sein. Das Potenzial der Wandlungsfähigkeit wird dabei gebildet aus Flexibilität und Reaktionsfähigkeit.“
[Dürschmidt 2001, S. 11-12]

Die Wandlungsfähigkeit beschreibt somit den Freiraum eines Produktionssystems sich an veränderte unvorhersehbare Rahmenbedingungen anzupassen. [Heinecker 2006, S. 51]

In der Definition wird beschrieben, dass sich die Wandlungsfähigkeit aus den Einzelpotenzialen der Flexibilität und der **Reaktionsfähigkeit** zusammensetzt. **Flexibilität** beschreibt die Fähigkeit eines Produktionssystems sich an veränderte Einflussfaktoren anzupassen. Die Veränderungen des Systems sind hierbei durch ein vorher bereitgestelltes Maßnahmenbündel fest definiert. Die Reaktionsfähigkeit drückt das Handlungspotenzial bei einem nicht prognostizierbaren und plötzlich eintretenden Ereignis aus. [Nyhuis 2008, S. 24-25]

Abbildung 11 beschreibt den Zusammenhang zwischen der Wandlungsfähigkeit und der Flexibilität.

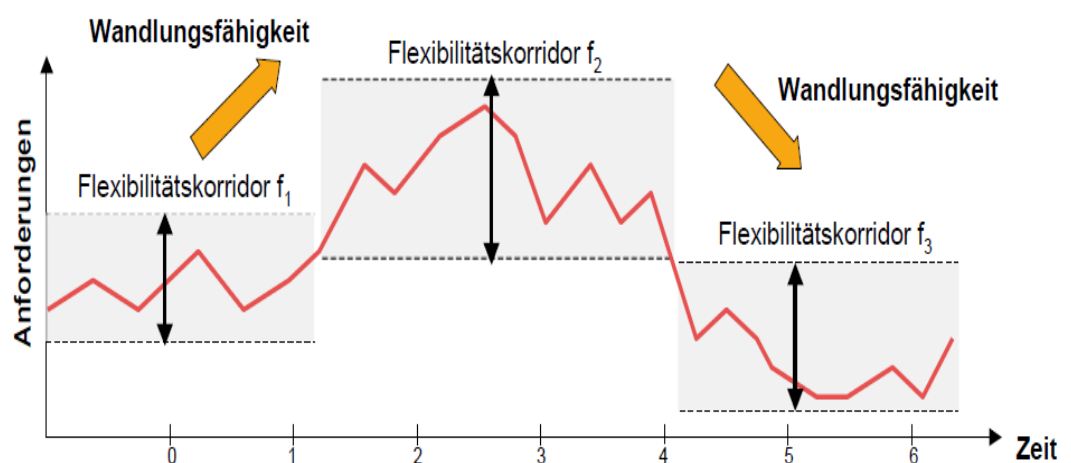


Abbildung 11: Abgrenzung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit
Quelle: [Wiendahl 2005, S. 121]

Das Verhältnis ist abhängig von den Turbulenzen welchen das Unternehmen ausgesetzt ist. [Heinecker 2006, S. 51]

Je höher die Turbulenzen denen das Unternehmen ausgesetzt ist, desto geringer ist die Prognostizierbarkeit von Ereignissen welche Einfluss auf das Unternehmen haben.

In diesem Fall ist die Wandlungsfähigkeit des Unternehmens sehr hoch. Um diese Situation beherrschen zu können bedarf es einem hohen Maß an Reaktionsfähigkeit. Sind Ereignisse in ihrem zeitlichen Auftreten und in ihren Ausprägungen vorhersehbar, so bietet dies Raum um Flexibilisierungspotenzial bereitzustellen.

Umso stabiler das Umfeld desto niedriger muss die Wandlungsfähigkeit des Unternehmens sein. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 12 dargestellt. Hauptsächlich sinkt das Maß der benötigten Reaktionsfähigkeit, da auch in einem stabilen Umfeld Veränderungen auftreten können, welche eine Grundflexibilität begründen. [Dürschmidt 2001, S. 16]

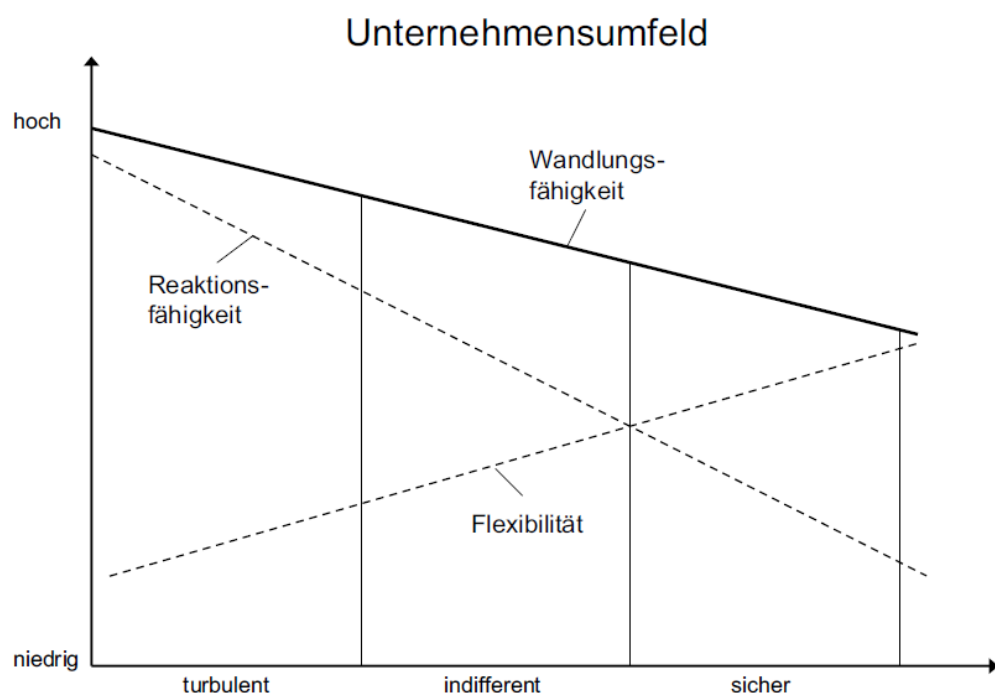


Abbildung 12: Abschätzung der notwendigen Wandlungsfähigkeit
Quelle: [Heinecker 2006, S.51]

4.2 Wandlungsbefähiger

Um auf die Marktturbulenzen angemessen reagieren zu können müssen die Elemente eines Produktionssystems über Eigenschaften verfügen, die diese zur Anpassung an die veränderten Anforderungen befähigen. Die sogenannten Wandlungsbefähiger lassen sich in primäre und sekundäre Wandlungsbefähiger einteilen. Zu den primären Wandlungsbefähigern zählen Universalität, Mobilität, Skalierbarkeit, Modularität und die Kompatibilität. [Müller 2009, S. 2]

Die **Universalität** beschreibt die Fähigkeit bzw. die Dimensionierung von Mensch und Maschinen unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen. Bei Maschinen drückt diese sich darin aus, dass sie unterschiedliche Produkte erstellen können. Beim Menschen darin, dass er durch Schulungen und Weiterbildungen vielseitig einsetzbar ist.

Mobilität beschreibt die räumliche uneingeschränkte Beweglichkeit von Objekten. Zum Beispiel können durch Rollen Betriebsmittel verschoben werden.

Unter **Skalierbarkeit** wird die technische, räumliche und personelle Erweiter- und Reduzierbarkeit verstanden. Beispielsweise können in flexiblen Schichtmodellen die Mitarbeiter je nach Arbeitsaufkommen eingesetzt werden.

Modularität beschreibt die Fähigkeit standardisierte Einheiten oder Elemente austauschen zu können, z.B. verschiedene Standardfräsprogramme an einer CNC Fräse.

Kompatibilität beschreibt die Verträglichkeit verschiedener Objekte z.B. dass die Software verschiedener Betriebsmittel miteinander kommunizieren kann. [Wiendahl 2009, S.126] [Nyhuis 2008, S. 26]

Die primären Wandlungsbefähiger lassen sich in verschiedene Stufen des Erfüllungsgrades skalieren. So ist beispielsweise eine Standbohrmaschine, welche durch Rollen verschoben werden kann, durchaus als mobil anzusehen. Eine Handbohrmaschine kann jedoch eine größere Mobilität aufweisen.

Neben den primären lassen sich noch weitere zahlreiche sekundäre Wandlungsbefähiger finden, welche den primären unterzuordnen sind. Diese verkörpern grundsätzlich keinen neuen Aspekt, sondern ergänzen und beschreiben den vorhandenen primären Wandlungstreiber. So ist eine Nebenbedingung der Modularität beispielweise, dass die Module untereinander kompatibel sind. [Nyhuis 2008, S. 27- 28]

In einem maximal wandlungsfähigen Produktionssystem sind alle Elemente in der Lage durch die Nutzung auf sich bezogener Wandlungsbefähiger einen besseren Systemzustand herbeizuführen. Ein maximaler Erfüllungsgrad an Wandlungsfähigkeit ist in der Regel jedoch mit Mehraufwand verbunden. Daher ist abzuwägen welcher Erfüllungsgrad für welches Element sinnvoll ist. [Nyhuis 2008, S. 30]

Beispielweise ist es in einem Unternehmen bei dem es nicht oft zur räumlichen Versetzung von Betriebsmitteln kommt meist ausreichend wenn das Betriebsmittel nicht fest mit dem Boden verankert ist und mit einem Kran versetzt werden kann. Ein zusätzliches Anbringen von Rollen würde zwar die Mobilität des Betriebsmittels steigern und somit auch die gesamte Wandlungsfähigkeit, jedoch ist dies nicht notwendig um auf die Turbulenzen reagieren zu können.

4.3 Wandlungsfähigkeit von Kapazitäten

Die Wandlungsfähigkeit eines Systems hängt, wie in Kapitel 4.2 beschrieben von der Wandlungsfähigkeit seiner Elemente ab. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben sind die Betriebsmittel sowie die menschliche Arbeitskraft die elementaren Faktoren, welche die Kapazität von Unternehmen ausmachen.

In Kapitel 4.2 werden die primären Wandlungsbefähiger beschrieben, welche die Wandlungsfähigkeit der Elemente ausmachen. Im Folgenden wird untersucht welche Merkmalausprägungen die Faktoren „menschliche Arbeitskraft“ und „Betriebsmittel“ in einem wandlungsfähigen Produktionssystem aufweisen.

Durch die qualitative Kapazität wird beschrieben inwieweit ein Potentialfaktor in der Lage ist unterschiedliche Produkte zu erstellen.

Die Universalität drückt sich bei Maschinen darin aus, dass diese unterschiedliche Produkte erstellen können. Bei Menschen drückt sie sich darin aus, dass sie durch Schulungen und Weiterbildungen vielseitig einsetzbar sind.

Corstens teilt Arbeitskräfte hinsichtlich ihrer Qualifikation sowie Ihrer Spezifikation auf. Dies wird in Tabelle 6 veranschaulicht.

Spezialisierungs- grad	hochspezialisierte Arbeitskräfte	niedrigspezialisierte Arbeitskräfte
Qualifikation		
hoch	1	2
niedrig	3	4

Tabelle 6: Mitarbeitererteilung nach Qualifikation
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Corstens 2012, S.536]

Mitarbeiter die dem Feld 1 zuzuordnen sind, sind hochqualifiziert aber auf ein bestimmtes Themengebiet spezialisiert was Ihre Flexibilität beschränkt. Aus diesem Grund eignen sich diese Mitarbeiter nur in Unternehmen welche lediglich geringen Turbulenzen ausgesetzt sind. In wandlungsfähigen Unternehmen ist der Bestand an diesen Mitarbeitern gering zu halten.

Mitarbeiter in Feld 2 sind hochqualifiziert und niedrig spezialisiert. Diese Art von Mitarbeitern eignet sich besonders für wandlungsfähige Produktionssysteme da sie sich schnell an veränderte Rahmenbedingungen anpassen können und bei Spitzenbelastungen in unterschiedlichen Bereichen einsetzbar sind.

Mitarbeiter in Feld 3, welche hoch spezialisiert aber niedrig qualifiziert sind sowie die Mitarbeiter die Feld 4 zuzuordnen sind, wirken sich negativ auf die Flexibilität aus. Diese Mitarbeiter sind nur in wenigen Bereichen einsetzbar. [Corstens 2012, S. 536]

Entsprechend dem Grad der Spezialisierung lassen sich Betriebsmittel in folgende Klassen einteilen:

- Ein-Zweck-Maschinen zur Herstellung von, hinsichtlich Güte und Abmessung, eindeutig definierten Erzeugnissen
- Mehrzweck-Maschinen zur Herstellung gleichartiger Erzeugnisse verschiedener Abmessung
- Ein-Verfahren-Maschinen zur Herstellung verschiedener Erzeugnistypen mit demselben Verfahren
- Mehrverfahren-Maschinen lassen nacheinander wahlweise die Anwendung verschiedener Produktionsverfahren zu [Stützle 1987,S. 43]

Umso höher der Grad der Spezialisierung desto weniger eignen sich die Betriebsmittel für ein wandlungsfähiges Produktionssystem.

Die **Skalierbarkeit** nimmt Einfluss auf die Anpassbarkeit der Kapazität an die Nachfrage und somit auf die quantitative Kapazität.

Möglichkeiten zur Flexibilisierung der Personalkapazität bestehen durch flexible Arbeitszeitmodelle sowie durch die Automatisierung von Bearbeitungsvorgängen.

Bei den flexiblen Arbeitszeitkonzepten findet eine Konzentration der Arbeitstätigkeit auf Zeiten statt, in denen eine hohe Nachfrage besteht. [Steven 1995, S. 877-878]

Möglichkeiten die Betriebsmittelkapazität zu beeinflussen bestehen durch die Inbetriebnahme sowie die temporäre Stilllegung von Betriebsmitteln zur Anpassung der Kapazität an die Nachfrage. Eine weitere Möglichkeit ist die Externalisierung von Aufgaben. Hierbei werden bei einer Kapazitätsunterdeckung bestimmte Arbeitsvorgänge an externe Unternehmen vergeben, wodurch die eigene Kapazität entlastet werden kann. Ebenso ist es bei einer Kapazitätsunterdeckung möglich Arbeitsvorgänge, welche vormals von externen Unternehmen bereitgestellt wurden, intern durchzuführen. Hierdurch kann eine bessere Kapazitätsauslastung erreicht werden. [Corstens 2012, S. 534-535] Tabelle 7 zeigt die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Reaktion auf Kapazitätsüberdeckung sowie –unterdeckung auf.

	Kapazitätsunterdeckung	Kapazitätsüberdeckung
Anpassung des Angebots	<ul style="list-style-type: none"> • Überstunden • Sonderschichten • Inbetriebnahme neuer Betriebsmittel • Innerbetriebliche Personalverschiebung • Zeitlich begrenzte anderweitige Maschinennutzung • Intensitätsanpassung 	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzarbeit • Schichtabbau • (Temporäre) Stilllegung von Aggregaten • Innerbetriebliche Personalverschiebung • Zeitlich begrenzte anderweitige Maschinennutzung • Intensitätsanpassung
Anpassung der Nachfrage	<ul style="list-style-type: none"> • Verlagerung in eine andere Periode • Übernahme externer Arbeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Verlagerung in eine andere Periode • Vergabe an externe Anbieter

Tabelle 7: Anpassungsmöglichkeiten der Kapazität
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Corstens 2012, S. 535]

4.4 Bedeutung der Wandlungsfähigkeit für die Kapazitätsplanung

In wandlungsfähigen Produktionssystemen müssen die Unternehmen in der Lage sein flexibel auf die Turbulenzen des Marktes zu reagieren. In Bezug auf die Kapazitäten des Unternehmens hat dies zur Folge, dass dessen Potentialfaktoren möglichst universell und skalierbar gestaltet sein müssen. Durch die hohe Universalität wird es dem Unternehmen ermöglicht schnell neue Produkte mit in das Sortiment aufzunehmen und sich dem Markt anzupassen. Diese Produkte weisen andere Stücklisten sowie Arbeitspläne als die vorhandenen Produkte auf.

Die Bearbeitungszeiten der einzelnen Produkte in den elementaren Produktionssystemen variieren. Diese werden jedoch zur Ermittlung der Kapazität herangezogen. Somit ist die vorhandene Kapazität für jedes Produkt unterschiedlich.

Aus diesem Grund sind wandlungsfähige Unternehmen gezwungen ihre Kapazität bereits bei der Entscheidung ob ein Auftrag anzunehmen ist oder nicht neu zu berechnen.

5 Abbildung der Kapazitätsplanung in Modellen

5.1 Prozessmodell der Kapazitätsplanung

Die Entscheidungsgrundlage für die Annahme eines Auftrags ist die Frage ob die vorhandene Kapazität der Potentialfaktoren ausreicht um den Auftrag zu erfüllen. Andere Aspekte wie z.B. die Wirtschaftlichkeit werden vernachlässigt.

Hierzu wird zunächst der Entscheidungsprozess des Unternehmens aufgezeigt. Im Fokus der Betrachtung liegt hierbei die prozessorientierte Sichtweise. Ziel ist es das Vorgehen zur Planung betrieblicher Kapazitäten aufzuzeigen. Andere Aspekte, wie z.B. durch welchen Mitarbeiter welcher Prozessabschnitt durchgeführt werden soll oder für welches Produkt die Planung vorgenommen wird, spielen keine Rolle. Ebenso sind dynamische Aspekte für den Zweck des Modells nicht relevant. Aus diesem Grund wird der Prozess mithilfe einer ereignisgesteuerten Prozesskette abgebildet.

Diese wird in den folgenden Abbildungen in Teilbereichen angezeigt (Abbildung 13-16).

Nach Auftragseingang muss das Unternehmen zunächst den Kapazitätsbedarf sowie den Kapazitätsbestand feststellen. Hierzu muss zuerst überprüft werden ob es sich bei den geplanten Produkten um neue oder bereits bestehende Produkte handelt.

Bei neuen Produkten müssen, je nach Grad der Neuheit Stücklisten und Arbeitspläne angefertigt oder von bestehenden Produkten abgeleitet werden.

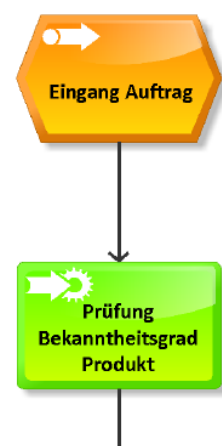


Abbildung 13:
Teilabschnitt 1
des EPK
Quelle: eigene
Darstellung.

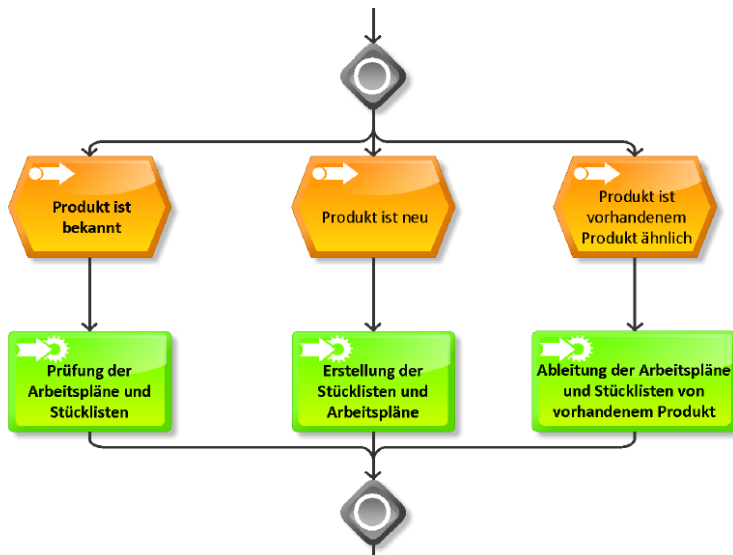


Abbildung 14: Teilabschnitt 2 des EPK
Quelle: eigene Darstellung.

Sind Arbeitspläne und Stücklisten für die Produkte vorhanden wird die Terminierung durchgeführt. In der Terminierung werden die in den Arbeitsplänen bestimmten Vorgänge auf die dazugehörigen elementaren Produktionssysteme verteilt. Durch die Hochrechnung der für eine bestimmte Periode zu fertigenden Stückzahl kann der Kapazitätsbedarf ermittelt werden. Parallel zu diesem Prozess wird der Kapazitätsbestand festgestellt. Hierbei werden die in den Arbeitsplänen vorgesehenen Abläufe verwendet.

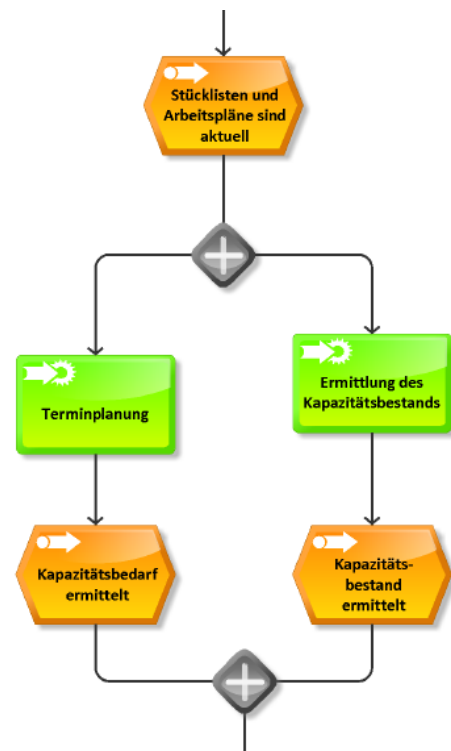


Abbildung 15: Teilabschnitt 3 des EPK
Quelle: eigene Darstellung.

Sind der Kapazitätsbestand sowie der Kapazitätsbedarf bekannt, findet ein Kapazitätsabgleich innerhalb der Durchlaufterminierung statt.

Liegt in einem Bereich eine Kapazitätsunterdeckung vor sind Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen. Sind keine Anpassungsmaßnahmen möglich ist der Auftrag abzulehnen.

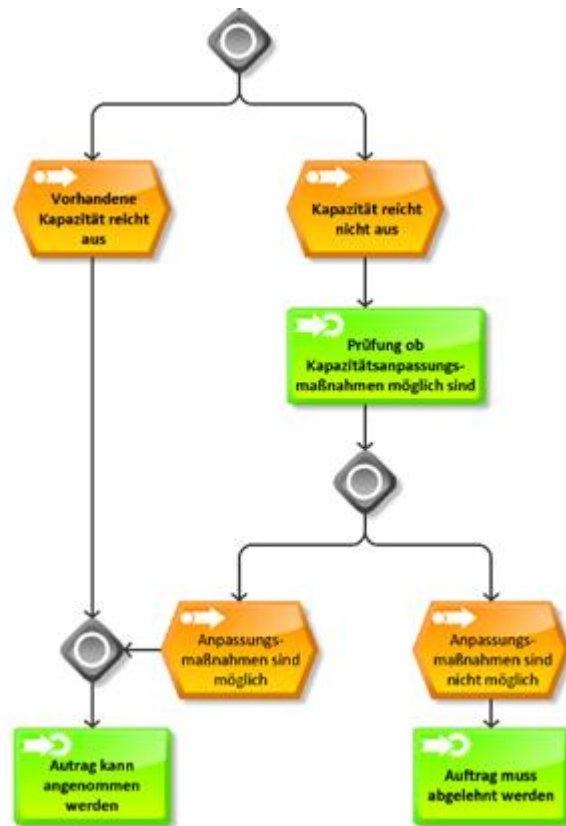


Abbildung 16: Teilabschnitt 4 des EPK
Quelle: eigene Darstellung.

5.2 Abbildung des Kapazitätsbestands

In wandlungsfähigen Produktionssystemen muss das Kapazitätsangebot für jedes neue Produkt erneut bestimmt werden. Aus diesem Grund wird ein Datenmodell erstellt, welches die für die Kapazität relevanten Objekte und deren Eigenschaften darstellt. Grundlage für das Modell ist die in Kapitel 3.3 beschriebene Vorgehensweise zur Bestimmung des Kapazitätsbestands. Aufgrund ihrer besseren grafischen Darstellbarkeit wird zur Modellierung die Entity Relationship Methode angewendet.

Auf Grundlage dieses Modells kann ein Unternehmen eine Datenbank erstellen mit welcher es die Kapazitätsbestände ermitteln kann.

Zur Darstellung der kapazitätsrelevanten Eigenschaften des Produktionssystems muss das System zunächst abstrahiert werden. Hierbei muss untersucht werden welche Objekte zur Beschreibung der Kapazität abgebildet werden müssen und welche Eigenschaften Einfluss auf die qualitative und quantitative Kapazität haben.

Die Kapazität des Gesamtsystems setzt sich aus der Kapazität seiner Bestandteile zusammen, also aus der Kapazität der elementaren Produktionssysteme. Diese setzt sich aus den Kapazitäten der Potentialfaktoren Mensch und Betriebsmittel sowie deren Zusammenwirken zusammen.

Im Folgenden wird beschrieben durch welche Eigenschaften dieser Elemente deren qualitative und quantitative Kapazität bestimmt wird.

Hierzu werden die Teilabschnitte des ERM in den Abbildungen 17 bis 20 passend zum jeweiligen Objekt dargestellt.

5.2.1 Kapazitätswirksame Eigenschaften der Potentialfaktoren

Zur Beschreibung der qualitativen Kapazität eines Mitarbeiters kann die in Kapitel 4.3 beschriebene Klassifizierung nach Corstens, welche die Arbeitskraft hinsichtlich Ihrer Qualifikation sowie Ihrer Spezifikation einteilt, genutzt werden. Die Mitarbeiter können dann in die jeweilige Klasse eingeteilt werden.

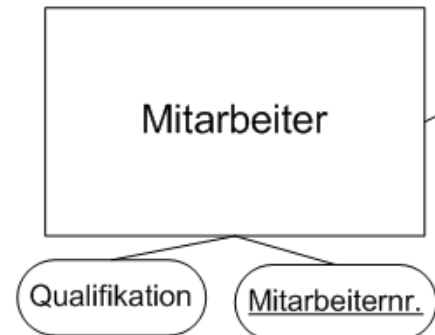


Abbildung 17: Teilabschnitt 1 des ERM
Quelle: eigene Darstellung.

Die qualitative Kapazität eines Betriebsmittels kann durch den Grad der Spezialisierung beschrieben werden. Hierzu werden den verschiedenen Ausprägungen Werte zugeordnet.

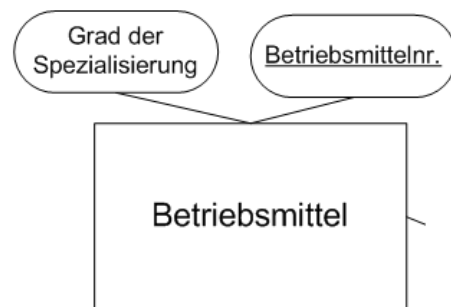


Abbildung 18: Teilabschnitt 2 des ERM
Quelle: eigene Darstellung.

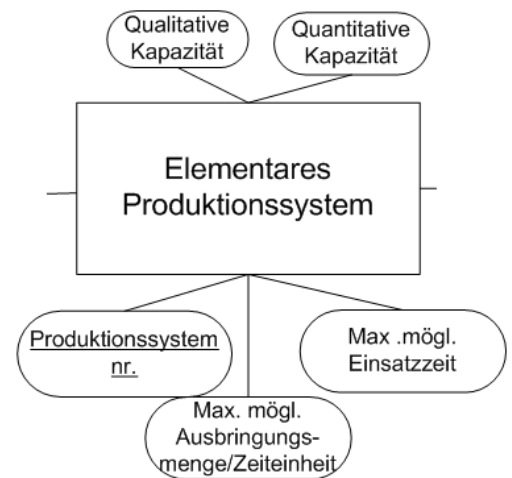
Grad der Spezialisierung	Ein-Zweck-Maschinen	Mehr-Zweck-Maschinen	Ein-Verfahren-Maschinen	Mehr-Verfahren-Maschinen
Wert	4	3	2	1

Tabelle 8: Zuweisung des Spezialisierungsgrades
Quelle: eigene Darstellung.

Die quantitative Kapazität der Mitarbeiter sowie der Betriebsmittel ist abhängig von dem jeweilig anderen Potentialfaktor. Daher entfaltet sich die quantitative Wirkung der Potentialfaktoren erst im elementaren Produktionssystem.

5.2.2 Kapazitätswirksame Eigenschaften der elementaren Produktionssysteme

Die qualitative Kapazität der elementaren Produktionssysteme ergibt sich aus der Anzahl der maximal realisierbaren Produktionsvorgänge für bestimmte Erzeugnisse. Dieser ist abhängig von einem Potentialfaktor wobei der jeweils andere Faktor die notwendigen Ergänzungsvorgänge vollziehen kann.



Die quantitative Kapazität des elementaren Produktionssystems wird über die Eigenschaften „maximal mögliche Ausbringungsmenge/Zeiteinheit“ sowie „maximal mögliche Einsatzzeit“ gebildet. Wobei bei jedem Attribut überprüft werden muss welchen Einfluss welcher Potentialfaktor hat.

Abbildung 19: Teilabschnitt 3 ERM
Quelle: eigene Darstellung.

5.2.3 Beschreibung des Objektes „Fertigungsstufe“

Die elementaren Produktionssysteme bilden mit anderen Produktionssystemen eine Fertigungsstufe. Zur Bestimmung der Kapazität ist die Anordnung der Betriebsmittel von Bedeutung. Innerhalb einer Reihenfertigung ist die Kapazität abhängig von dem Produktionssystem mit dem

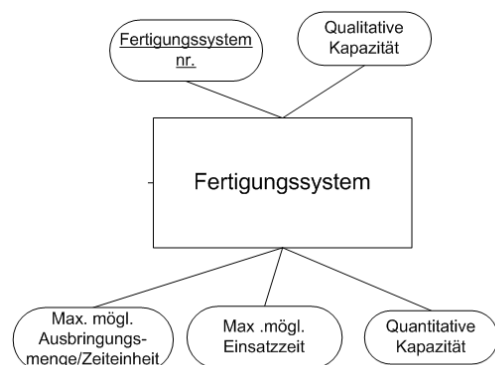


Abbildung 20: Teilabschnitt 4 ERM
Quelle: eigene Darstellung.

höchsten Reifegrad des Produktes. In der Reihenfertigung hängt die quantitative Kapazität von den Einflussfaktoren der quantitativen Kapazität der elementaren Produktionssysteme ab („maximal mögliche Ausbringungsmenge/Zeiteinheit“ und „maximal mögliche Einsatzzeit“).

Die Produktionssysteme mit der geringsten Inanspruchnahme jedes Faktors bestimmen die Einflussfaktoren des Fertigungssystems.

Bei einer Werkstattfertigung kann die Kapazität der einzelnen elementaren Produktionssysteme für jede Erzeugung aufsummiert werden.

Die qualitative Kapazität eines Fertigungssystems wird durch die Eigenschaft „potenziell zu fertigende Produkte“ beschrieben. In der Reihenfertigung sind nur die Produkte eines elementaren Produktionssystems zu beachten bei denen die umliegenden Produktionssysteme die notwendigen Ergänzungsvorgänge vornehmen können.

5.2.4 Überführung in das Modell

Im Modell (siehe Abbildung 20) werden die in Kapitel 5.2.2 und 5.2.3 erläuterten Objekte durch Entitäten dargestellt. Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Eigenschaften erhält jede Objektklasse ein Schlüsselattribut.

Die Entitätstypen „Mitarbeiter“ und „Betriebsmittel“ werden durch die Beziehung „Schichtzuweisung“ mit dem Entitätstyp „Elementares Produktionssystem“ verbunden. Das Objekt Schichtplan beschreibt die jeweilige Arbeitszeitregelung des Unternehmens. Aus diesem Grund enthält es die Attribute „Schichtende“ und „Schichtanfang“.

Mit Hilfe dem Beziehungstyp „Schichtzuweisung“ werden die jeweiligen Mitarbeiter und Betriebsmittel den unterschiedlichen Schichten zugewiesen.

Der Beziehungstyp „Schichtzuweisung“ verfügt über die Attribute „Schicht“, „Mitarbeiternummer“, „Betriebsmittelnummer“ und „Produktionssystemnummer“.

Da ein Betriebsmittel in mehreren Schichten zum Einsatz kommen kann, erhält es die Notation (1,m). Eine menschliche Arbeitskraft arbeitet hingegen nur in einer Schicht. Ebenfalls ist es möglich, dass ein Mitarbeiter keiner Schicht zugeteilt wird. Daher besteht zwischen dem „Mitarbeiter“ und der „Schichtzuweisung“ eine (m,n) Beziehung.

Einem elementaren Produktionssystem werden mehrere Schichten zugeordnet, daher erhält es die Notation (1,m). Da davon ausgegangen wird, dass außerhalb der Schichten nicht gearbeitet wird und in jeder Schicht mehrere Objekte zum Einsatz kommen erhält der Entitätstyp „Schicht“ die Notation (1,m).

Die Beziehung „Besteht aus“ weist einem elementaren Produktionssystem seine Fertigungsstufe innerhalb des Fertigungssystems zu. Ein elementares Produktionssystem kommt genau einmal innerhalb eines Fertigungssystems vor und erhält die Notation (1,1). Einem Fertigungssystem können mehrere elementare Produktionssysteme zugeordnet werden. Es erhält aus diesem Grund die Notation (1,m).

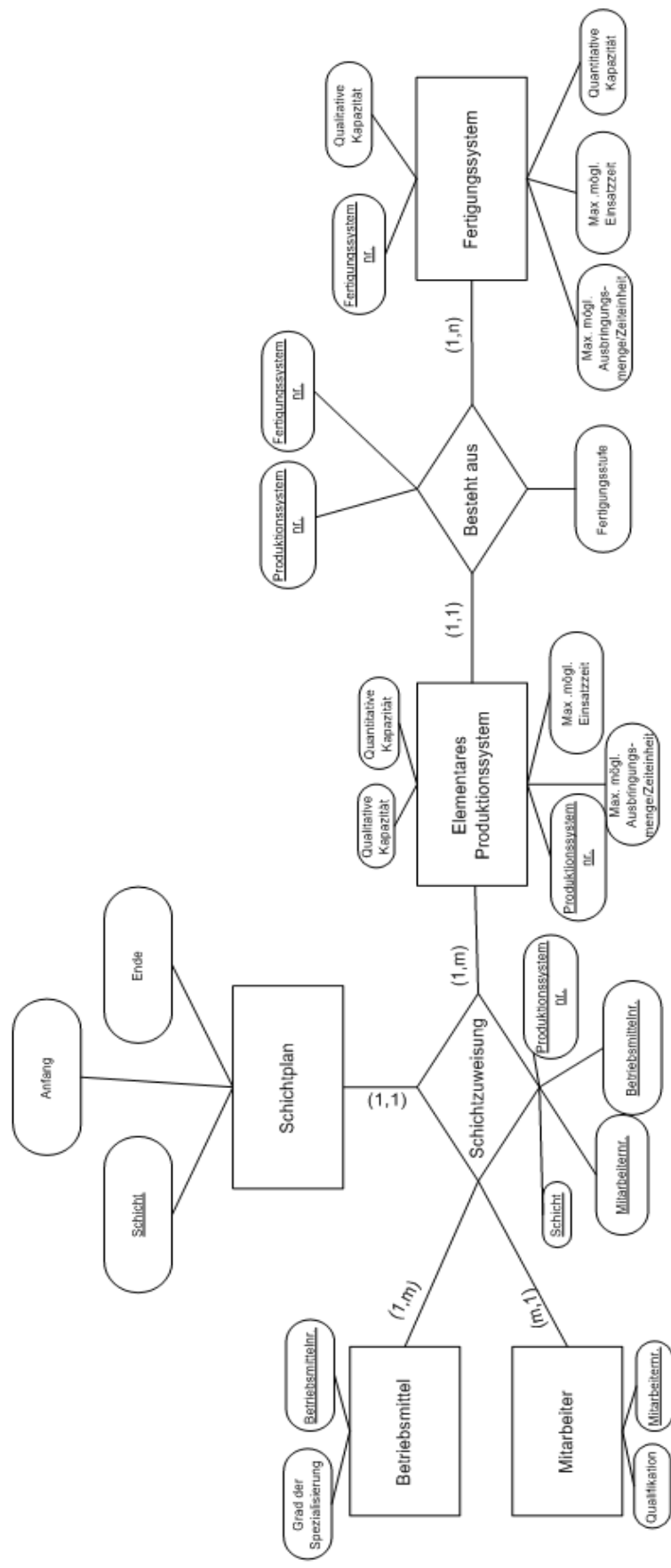


Abbildung 21: ERM Modell
Quelle: eigene Darstellung.

6 Beispielhafte Darstellung

6.1 Szenario

Bei der abzubildenden Fabrik handelt es sich um eine Fahrradfabrik. Diese produziert im Zweischichtbetrieb Herren-, Damen- und Kinderfahräder.

Eine Schicht dauert acht Stunden. Die Unternehmung plant jeweils für einen Monat (20 Arbeitstage) und möchte die Periodenkapazität für diesen Zeitraum erfassen. In dem Unternehmen arbeiten zurzeit 21 Mitarbeiter verschiedener Qualifikationsstufen. Von den 21 Mitarbeitern arbeiten immer 14 in den fest zugeteilten Schichten und sieben verteilt in anderen Bereichen des Unternehmens (z.B. Lager) oder als Springer um Ausfallzeiten zu vermeiden.

Die Fahrräder durchlaufen nacheinander die Bereiche „Rahmen schweißen“, „Rahmen fräsen“, „Rahmen Lackierung“, „Montage Antriebsteile“ sowie „Montage Anbauteile“. Es gibt jeweils zwei parallele Montagestellen. Die Betriebsmittel der Bereiche „Rahmen schweißen“, „Rahmen fräsen“ und „Rahmen Lackierung“ verfügen über jeweils drei wählbare Programme. Bei diesen können die Spezifikationen zwischen Herren-, Kinder- und Damenrad ausgewählt werden.

Im Bereich „Rahmen schweißen“ werden die Einzelteile durch einen Mitarbeiter in eine Vorrichtung eingelegt und dann punktuell zusammengeschweißt. Zuvor wird die Vorrichtung für den jeweiligen Fahrradtyp eingestellt. Danach durchläuft der Schweißautomat einen vorher programmierten Schweißvorgang. Dieser Prozess dauert in der Regel fünf Minuten.

Danach durchläuft der Rahmen den Fräsbereich. Hierbei wird der Rahmen in eine Vorrichtung eingehängt. Ein automatisches Programm steuert nun die Fräse, der Mitarbeiter wählt lediglich das vorher installierte Fräsprogramm aus. Dieser Prozess dauert vier Minuten.

In der Lackierung wird der Rahmen ebenfalls in den Lackierautomaten gehängt. Der Mitarbeiter wählt die Farbe des Rahmens sowie das Programm für den jeweiligen Fahrradtyp aus. Dieser Prozess dauert sechs Minuten.

In der „Montage Antriebsteile“ werden dann alle Anbauteile angebracht, welche zur ordnungsgemäßen und sicheren Funktion des Fahrrads von elementarer Bedeutung sind. Hierzu zählt die Montage der Räder, des Getriebes und der Schaltung. Der Werker legt den Rahmen in die dafür vorgesehene Vorrichtung und montiert im Anschluss die Teile. Da dies ein hohes Maß an Präzision sowie Geschicklichkeit erfordert, werden die Arbeitsgänge von ausgebildeten Zweiradmechanikern durchgeführt. Dieser Prozess dauert zehn Minuten. Aufgrund der hohen Ausbildungsstufe sind die Mitarbeiter der „Montage Antriebsteile“ in der Lage, neben den drei Standardprodukten weitere Produkte herzustellen.

In der „Montage Anbauteile“ werden Anbauteile wie z.B. der Sattel oder die Bremsen angebracht. Hierzu befördert der Werker das Fahrrad in die dafür vorgesehene Vorrichtung und montiert die Teile. Im Gegensatz zur Montage der Antriebsteile handelt es sich um einfache Arbeiten, welche auch durch eine ungelernete Kraft ausgeführt werden können. Dieser Prozess dauert ebenfalls zehn Minuten.

Die Vorrichtungen sind universell einsetzbar und können auch für andere Produkte verwendet werden.

6.2 Abbildung des Systems durch das Modell

Zunächst sind zur Ermittlung der Kapazität die Mitarbeiter, welche im Fertigungssystem arbeiten, in die Tabelle des Entitätstyps „Mitarbeiter“ (Tabelle 9) einzutragen. Ebenfalls sind die Betriebsmittel in die des Entitätstyps „Betriebsmittel“ einzutragen.

Der Schweißautomat, die Fräse und der Lackierautomat werden hierbei der *Stufe 3* zugeordnet, da sie mit demselben Verfahren Produkte mit verschiedener Abmessung bearbeiten können. Dies ist abhängig von dem Programm welches ausgewählt wird.

Bezeichnung	Grad der Spezialisierung
Fräse 1	3
Schweißautomat 1	3
Lackierautomat 1	2
Montagevorrichtung 1	1
Montagevorrichtung 2	1

Tabelle 9: Entitätstyp „Betriebsmittel“
Quelle: eigene Darstellung.

Die Mitarbeiter werden entsprechend dem Grad ihrer Qualifikation sowie ihrer Spezialisierung bewertet.

Hierbei werden die Mitarbeiter mit einer Ausbildung zum Zweiradmechaniker der *Stufe 2* zugeordnet. Sie besitzen durch ihre Ausbildung eine hohe Qualifikation und können verschiedene Vorgänge bearbeiten. Die Mitarbeiter des Schweiß-, Fräß-, oder Lackierbereiches haben nur eine geringe Qualifikation und wurden speziell für die Bedienung aller Betriebsmittel ausgebildet. Aus diesem Grund sind sie der *Stufe 3* zuzuordnen. Die Einteilung der Mitarbeiter hinsichtlich ihrer Qualifikation ist in Tabelle 10 dargestellt.

Mitarbeiter Nr.	Qualifikation
1	3
2	3
3	2
4	3
5	2
6	3
....	...

Tabelle 10: Entitätstyp „Mitarbeiter“
Quelle: eigene Darstellung.

Tabelle 11 zeigt, dass im Entitätstyp „Schichtplan“ die verschiedenen Schichten definiert werden.

Schicht	Anfang	Ende
Schicht 1	6:00	14:00
Schicht 2	14:00	22:00

Tabelle 11: Entitätstyp „Schichtplan“
Quelle: eigene Darstellung.

Durch die Schichten wird die maximal mögliche Einsatzzeit der Mitarbeiter in den elementaren Produktionssystemen bestimmt

Durch die Beziehung „Schichtzuweisung“ werden die Mitarbeiter in Ihrer Schicht und Ihrem Arbeitsplatz zugewiesen. Dies wird in Tabelle 12 verdeutlicht.

Schicht	Mitarbeiter	Betriebsmittel	Elementare Produktionssystem
Schicht1	3	Fräse 1	Frässystem 1
Schicht1	4	Schweißautomat 1	Schweißsystem 1
Schicht1	6	Lackierautomat 1	Lackiersystem 1
Schicht1	1	Montagevorrichtung 1	Montagesystem 1
Schicht1	2	Montagevorrichtung 2	Montagesystem 2
Schicht 1	5	Montagevorrichtung 3	Montagesystem 3
Schicht 1	7	Montagevorrichtung 4	Montagesystem 4

Tabelle 12: Beziehungstyp „Schichtzuweisung“
Quelle: eigene Darstellung.

In Tabelle 11 werden die kapazitätsbestimmenden Eigenschaften des Entitätstyp „Elementares Produktionssystem“ beschrieben.

Produktionssystem	Max. mögl. Ausbringungsmenge pro Std.	Max. mögl. Einsatzzeit in Std.	Quantitative Kapazität (Stück)	Qualitative Kapazität
Schweißsystem 1	12	320	3200	3
Fräsystem 1	15	320	4800	3
Lackiersystem 1	10	320	3840	3
Montagesystem 1	5	320	1920	4
Montagesystem 2	5	320	1920	4
Montagesystem 3	5	320	1920	3
Montagesystem 4	5	320.	1920	3

Tabelle 13: Entitätstyp „Elementares Produktionssystem“
Quelle: eigene Darstellung.

Zur Bestimmung der quantitativen Kapazität muss untersucht werden, welchen Einfluss welcher Faktor auf die Bestimmungsgrößen „maximal mögliche Einsatzzeit“ und „maximal mögliche Ausbringungsmenge/ Zeiteinheit“ hat. Die „maximal mögliche Einsatzzeit“ ergibt sich aus den Schichten der Mitarbeiter. Diese bestimmen wie lange jedes Produktionssystem pro Tag besetzt ist. Auf betriebsbedingte Ausfallzeiten der Maschinen wurde in der vorliegenden Arbeit nicht eingegangen.

Da das Produktionssystem über zwei Schichten verfügt, welche beide über acht Stunden gehen, ergeben sich 16 Arbeitsstunden pro Tag. Bei 20 Arbeitstagen pro Periode ergeben sich für die maximale Einsatzzeit 320 Stunden pro Periode.

Der Bereich „Rahmen schweißen“ besteht aus dem Schweißautomat sowie einer menschlichen Arbeitskraft. Die „maximal mögliche Ausbringungsmenge/Zeiteinheit“ wird von dem Schweißautomaten bestimmt. Dieser benötigt für einen Schweißvorgang sechs Minuten. Somit besitzt dieses Produktionssystem eine quantitative Kapazität in Höhe von 3200 Stück im Monat.

Der Bereich „Fräsen“ besteht aus einer menschlichen Arbeitskraft sowie einer Fräse. Die „maximal mögliche Ausbringungsmenge/Zeiteinheit“ wird von der Fräse bestimmt. Diese benötigt für einen Schweißvorgang vier Minuten. Somit besitzt dieses Produktionssystem eine quantitative Kapazität in Höhe von 4800 Stück im Monat.

Der Bereich „Rahmen Lackierung“ besteht aus einer menschlichen Arbeitskraft sowie einem Lackierautomaten. Die „maximal mögliche Ausbringungsmenge/Zeiteinheit“ wird von dem Lackierautomaten bestimmt. Dieser benötigt für einen Lackiervorgang fünf Minuten. Somit besitzt dieses Produktionssystem eine quantitative Kapazität in Höhe von 3840 Stück im Monat.

In den Montagebereichen ist die quantitative Kapazität rein von der menschlichen Arbeitskraft abhängig. Betriebsmittel wie die Vorrichtungen, Bohrmaschinen und Werkzeuge haben nur unterstützende Wirkung.

In allen Montagebereichen benötigt ein Mitarbeiter für die Montage eines Fahrrads zehn Minuten. Somit besitzt eine Montagestation eine Kapazität in Höhe von 1920 Stück im Monat.

Die qualitative Kapazität ergibt sich aus den maximal zu fertigenden Erzeugnisarten. Diese werden in den Bereichen „Rahmen fräsen“ „Rahmen schweißen“ und „Rahmen Lackierung“ durch die Anzahl der Programme festgelegt. Eine höhere Anzahl an Erzeugnissen wäre möglich, jedoch würde hierzu fachkundigeres Personal benötigt werden. Das Personal müsste in der Lage sein die Programme anzupassen. In den Montagestationen richtet sich die qualitative Kapazität lediglich nach den Mitarbeitern. Die Mitarbeiter an der Station „Antriebsteile“ können aufgrund Ihrer hohen Qualifikation neben den drei Standardfahrrädern ebenfalls ein Fahrrad mit Hilfsmotor erstellen. Für die anderen Produktionssysteme ergeben sich hierdurch keine Änderungen.

Durch die Beziehung „Besteht aus“ wird dem elementaren Produktionssystem eine Fertigungsstufe im jeweiligen Fertigungssystem zugeordnet. Dies ist aus Tabelle 14 zu entnehmen.

Produktionssystemnr.	Fertigungssystemnr.	Fertigungsstufe
Schweißsystem 1	Vorfertigung 1	1
Frässystem 1	Vorfertigung 1	2
Lackiersystem 1	Vorfertigung 1	3
Montagesystem 1	Antrieb 1	1
Montagesystem 2	Antrieb 1	1
Montagesystem 3	Anbau 1	1
Montagesystem 4	Anbau 1	1

Tabelle 14: Beziehungstyp „Besteht aus“
Quelle: eigene Darstellung.

Dadurch, dass jeweils zwei Montagestationen parallel angeordnet sind, ergeben sich drei Fertigungssysteme. Diese bilden wiederum zusammen ein Fertigungssystem höher Ordnung.

In Tabelle 15 werden die kapazitätsbestimmenden Eigenschaften des Entitätstyp „Fertigungssystem“ beschrieben. Die Vorfertigung ist als Reihenfertigung angeordnet. Die beiden Montagestationen ergeben jeweils eine Werkstattfertigung.

In der Reihenfertigung hängt die quantitative Kapazität des Fertigungssystems von den Einflussfaktoren der quantitativen Kapazität der elementaren Produktionssysteme ab („maximal mögliche Ausbringungsmenge/Zeiteinheit“ und „maximal mögliche Einsatzzeit“). Die Produktionssysteme mit der geringsten Inanspruchnahme jedes Faktors bestimmen die Kapazität des Fertigungssystems. Die „maximal mögliche Einsatzzeit“ ist bei allen elementaren Produktionssystemen gleich. Die „maximal mögliche Ausbringungsmenge“ wird vom Produktionssystem „Lackiersystem“ bestimmt. Die quantitative Kapazität beläuft sich auf drei Stück. Die quantitative Kapazität in einer Werkstattfertigung resultiert aus der Summe der Kapazitäten der Elemente für eine bestimmte Erzeugnisart. Somit kann die Kapazität der beiden Montagesysteme durch Aufsummierung der Kapazitäten der Bestandteile ermittelt werden. Die qualitative Kapazität ergibt sich aus den gesamten, maximal zu fertigenden Erzeugnisarten. Da beide Systeme aus zwei Produktionssystemen bestehen, welche die gleichen Erzeugnisarten fertigen, verändert sich die qualitative Kapazität nicht.

Fertigungs- systemnr.	Max. mögl. Ausbringungs- menge pro Std.	Max. mögl. Einsatz- zeit in Std.	Quali- tative Kapazität (Stück)	Quanti- tative Kapazität
Vor- Fertigung 1	10	320	3	3200
Antrieb 1	10	320	4	3200
Anbau 1	10	320	3	3200

Tabelle 15: Entitätstyp „Fertigungssysteme Stufe 1“
Quelle: eigene Darstellung.

Um die Kapazität des Gesamtsystems zu ermitteln nehmen die Fertigungssysteme die Stelle der elementaren Produktionseinheiten im Modell ein.

Die Beziehung „Besteht aus“ weist den Fertigungssystemen ihre Fertigungsstufe im Gesamtsystem zu. Dies wird in Tabelle 16 verdeutlicht.

Fertigungssystem	Gesamtsystem.	Fertigungsstufe
Vor-Fertigung 1	Radfertigung	1
Antrieb 1	Radfertigung	2
Anbau1	Radfertigung	3

Tabelle 16: Beziehungstyp „Besteht aus“ für Fertigungsstufe 2
Quelle: eigene Darstellung.

Die drei Systeme bilden eine Reihenfertigung. Die Einflussfaktoren der drei Fertigungssysteme haben in diesem Fall dieselben Werte, sodass diese auch für die quantitative Kapazität der Gesamtsysteme zu übernehmen sind.

Die qualitative Kapazität wird von der „Antriebsmontage“ bestimmt. Durch ihr hinzufügen kann ein zusätzliches Produkt erstellt werden ohne das sich Änderungen für die anderen Produktionssysteme ergeben. In Tabelle 17 werden die kapazitätsbestimmenden Eigenschaften des gesamten Fertigungssystems dargestellt.

Fertigungssystemnr.	Max. mögl. Ausbringungsmenge pro Std.	Max. mögl. Einsatzzeit in Std.	Qualitative Kapazität (Stück)	Quantitative Kapazität
Radfertigung	10	320	4	3200

Tabelle 17: Entitätstyp „Fertigungsstufe 2“
Quelle: eigene Darstellung.

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht wodurch sich Kapazitäten in einem wandlungsfähigen Produktionssystem auszeichnen und welche Anforderungen hierdurch an die Kapazitätsplanung gestellt werden.

Unternehmen die in einem turbulenten Umfeld agieren, müssen schnell auf neue Marktanforderungen reagieren können. Hierzu ist es unabdingbar, dass sie ihre Elemente wandlungsfähig gestalten. Kapazitäten müssen in wandlungsfähigen Produktionssystemen möglichst universell und frei skalierbar sein. Durch die hohe Universalität muss das Unternehmen in der Lage sein seine Kapazitäten auf neue Erzeugnisse auszurichten. Mitarbeiter mit einer hohen Universalität zeichnen sich durch eine hohe fachliche Qualifikation aus. Betriebsmittel sind vielseitig einsetzbar und in der Lage verschiedene Erzeugnisse zu fertigen.

Durch die Herstellung unterschiedlicher Produkte auf gleichen Betriebsmitteln kommt es zur Variation der Bearbeitungsvorgänge und -zeiten. Da die Bearbeitungszeiten elementar für die Berechnung des Kapazitätsbestandes sind, muss dieser bei jedem unbekanntem Produkt erneut ermittelt werden. Wird dies nicht bereits bei der Auftragsannahme berücksichtigt, kann es zu Fehlmengen oder Opportunitätskosten durch nicht ausgenutzte Kapazitäten kommen. Fehleinschätzungen des vorhandenen Kapazitätsbestandes können zu Kapazitätsüber- oder Kapazitätsunterdeckung führen. Die Folgen können z.B. ein Rückgang der Lieferbereitschaft oder eine verschlechterte Kostensituation des Unternehmens sein.

Aus diesem Grund wurde zunächst der Prozess der Kapazitätsplanung bei Annahme eines neuen Auftrages mithilfe einer EPK dargestellt.

Im Anschluss wurden die kapazitätsbestimmenden Objekte und deren kapazitätsrelevanten Eigenschaften in ein ERM modelliert.

Durch die Anwendung des Modells ist es möglich die Kapazität eines Unternehmens und deren Veränderungen innerhalb einer Datenbank zu veranschaulichen.

Unternehmen wird anhand des Modells die Möglichkeit gegeben bereits während der Auftragsannahme den Kapazitätsbestand auf Grundlage unbekannter Produkte zu ermitteln.

Vorausschauend ist es möglich das Modell in ein ganzheitliches Unternehmensmodell einzubinden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass neben den kapazitiven Entscheidungsmerkmalen weitere Faktoren auf die Annahmeentscheidung Einfluss nehmen.

Literaturverzeichnis

[Abecker 2002]

Abecker, Andreas; Hinkelmann, Knut; Maus, Heiko; Müller, Heinz Jürgen: Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement, 1. Auflage. Berlin / Heidelberg: Springer Verlag, 2002.

[Becker 2012]

Becker, Jörg; Probandt, Wolfgang; Vering, Oliver: Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung. Konzeption und Praxisbeispiel für ein effizientes Prozessmanagement, 1. Auflage. Berlin / Heidelberg: Springer Verlag, 2012.

[Chen 1976]

Chen, Peter: The Entity-Relationship Model: Towards a unified view of Data. ACM Transaction of Database Systems 1 (1976), pp. 9-36.

[Clar 1964]

Clar, Peter: Die Kapazitätsnutzung in der Industrieunternehmung, 1. Auflage. Berlin: Duncker & Humboldt Verlag, 1964.

[Corstens 2012]

Corsten, Hans; Gössinger, Ralf: Produktionswirtschaft - Einführung in das industrielle Produktionsmanagement, 13. Auflage. München: Oldenbourg Verlag, 2012.

[Deelmann 2006]

Deelmann, Thomas: Geschäftsmodellierung – Grundlagen, Konzeption und Integration, 1. Auflage. Berlin: Logos Verlag, 2007.

[Dürschmidt 2001]

Dürschmidt, Stephan: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion, 1. Auflage. München: Herbert Utz Verlag, 2001.

[Fritz 2007]

Fritz, Jürgen Ulrich: Zielführende Modellierung und Analyse schlanker Fertigungssysteme mit der Digitalen Fabrik, 1. Auflage. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Fertigungstechnik, 2007.

[Gadatsch 2012]

Gadatsch, Andreas: Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker, 7. Auflage. Wiesbaden: Springer Verlag, 2012.

[Gallenmüller 1974]

Gallenmüller, Otto; Hülsenberg, Frieder: Methodik der Ermittlung und Analyse der Produktionskapazität, 1. Auflage. Leipzig: Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, 1974.

[Gutenberg 1983]

Gutenberg, Erich: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 1. Band, 24. Auflage. Berlin / Heidelberg: Springer Verlag, 1983.

[Guist 2013]

Guist Michael: Klassendiagramm, in: <http://www.fbi.h-da.de/labore/case/uml/klassendiagramm.html> (Stand 20.06.2013, Abfrage 07.03.2014).

[Heinecker 2006]

Heinecker, Markus: Methodik zur Gestaltung und Bewertung wandelbarer Materialflusssysteme, 1. Auflage. München: Herbert Utz Verlag, 2006.

[Jaeschke 1996]

Jaeschke, Peter: Integrierte Unternehmensmodellierung, 1. Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 1996.

[Kern 1962]

Kern, Werner: Die Messung industrieller Fertigungskapazität und ihrer Ausnutzung, 1. Auflage. Köln Opladen: Westdt. Verlag, 1962.

[Kern 1975]

Kern, Werner: Kapazität und Beschäftigung. In: Grochla, Erwin: Handwörterbuch der Betriebswirtschaftlehre, 4. Auflage. Stuttgart: Poeschel Verlag, 1975.

[Kern 1993]

Kern, Werner: Kapazität. In: Chmielewicz, Klaus: Handwörterbuch des Rechnungswesens, 3. Auflage. Stuttgart: Schäffer Poeschel Verlag, 1993.

[Kern 1990]

Kern, Werner: Industrielle Produktionswirtschaft, 4. Auflage. Stuttgart: Poeschel Verlag, 1990.

[Kuhn 2002]

Kuhn, Axel; Hellingrath, Bernd: Supply Chain Management - optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette, 1. Auflage. Berlin: Springer Verlag, 2002.

[Kühn 2006]

Kühn, Wolfgang: Digitale Fabrik. Fabriksimulation für Produktionsplaner, 1. Auflage. München: Hanser Verlag, 2006.

[Lackes 2013]

Lackes, Richard; Siepermann, Markus: Datenmodellierung. In: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/daten-wissen/Datenmanagement/Daten-/Datenmodellierung-> (Stand: 26.09.2013, Abfrage: 07.03.2014).

[Layer 1979]

Layer, Manfred: Kapazität: Begriff, Arten und Messung, in: Handwörterbuch der Produktion, 1. Auflage. Stuttgart: Metzler/Poeschel Verlag, 1979.

[Lücke 1965]

Lücke, W.: Problem der quantitativen Kapazität in der industriellen Erzeugung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 35 (1965), S. 354-365.

[Mertins 1994]

Mertins, Kai; Süssenguth, Wolfram; Jochen, Roland: Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse, 1. Auflage. München / Wien: Hanser Verlag, 1994.

[Mertins 2009]

Mertins, Kai; Seidel, Holger: Wissensmanagement im Mittelstand. Grundlagen – Lösungen - Praxisbeispiele, 1. Auflage. Heidelberg: Springer Verlag, 2009.

[Müller 2009]

Müller, Egon; Ackermann, Jörg: Baukasten für wandlungsfähige Fabrikssysteme. In: Schenk, Michael: Digital Engineering - Herausforderung für die Arbeits- und Betriebsorganisation. Tagungsbund 22. HAB- Forschungsseminar. Berlin: GITO Verlag, 2009.

[Neumann, Klaus]

Neumann, Klaus: Produktions- und Operationsmanagement, 1. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1996.

[Nyhuis 2008]

Nyhuis, Peter; Reinhart, Gunther; Abele, Eberhard: Wandlungsfähige Produktionssysteme – Heute die Industrie von morgen gestalten, 1. Auflage. Hamburg: Impressum Verlag, 2008.

[REFA 1991].

REFA. Verband für Arbeitsorganisation: Methodenlehre der Betriebsorganisation- Planung und Steuerung (Teil 2). München: Hanser, 1991.

[Rohloff 2009]

Rohloff, Michael: Integrierte Gestaltung von Unternehmensorganisation und IT, 1. Auflage. Berlin: GITO Verlag, 2009.

[Schady 2008]

Schady, Rico: Methode und Anwendung einer wissensorientierten Fabrikmodellierung. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität, 2008.

[Scheer 1998]

Scheer, August-Wilhelm: ARIS – Vom Geschäftsprozeß zum Anwendungssystem, 3. Auflage. Saarbrücken: Springer Verlag, 1998.

[Staud 2010]

Staud, Josef: Unternehmensmodellierung-Objektorientierte Theorie und Praxis mit UML 2.0, 1. Auflage. Berlin / Heidelberg: Springer Verlag, 2012.

[Steven 1995]

Steven, Marion: Kapazitätsgestaltung und –optimierung. In: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Auflage. Stuttgart: Schäffer Poeschel Verlag, 1995.

[Stützle 1987]

Stützle, Gerhard: Langfristige Kapazitätsplanung unter Berücksichtigung der betrieblichen Elastizität, 1. Auflage. München: Florentz Verlag, 1987.

[Weigert 2004]

Weigert, Michael: Entwicklung eines Planungstools für die langfristige Kapazitätsplanung. Eine Untersuchung am Beispiel aus der Automobilindustrie, 1. Auflage. Cottbus-Senftenberg: Shaker Verlag, 2004.

[Wiendahl 2009]

Wiendahl, Hans–Peter; Reichardt, Jürgen; Nyhuis, Peter: Handbuch Fabrikplanung – Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten, 1. Auflage. München: Carl Hanser Verlag, 2009.

[Wille 1985]

Wille, Kurt: Kapazitätsermittlung in der Unternehmung, 1. Auflage.
Gießen- Wieseck: Verlag der Ferber`schen
Universitätsbuchhandlung, 1985.

Belehrung:

Wer vorsätzlich gegen eine die Täuschung über Prüfungsleistungen betreffende Regelung einer Hochschulprüfungsordnung verstößt, handelt ordnungswidrig. Die Ordnungswidrigkeit kann mit einer Geldbuße von bis zu 50.000,00 € geahndet werden. Zuständige Verwaltungsbehörde für die Verfolgung und Ahndung von Ordnungswidrigkeiten ist der Kanzler/die Kanzlerin der Technischen Universität Dortmund. Im Falle eines mehrfachen oder sonstigen schwerwiegenden Täuschungsversuches kann der Prüfling zudem exmatrikuliert werden. (§ 63 Abs. 5 Hochschulgesetz - HG -)

Die Abgabe einer falschen Versicherung an Eides statt wird mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

Die Technische Universität Dortmund wird gfls. elektronische Vergleichswerkzeuge (wie z.B. die Software „turnitin“) zur Überprüfung von Ordnungswidrigkeiten in Prüfungsverfahren nutzen.

Die oben stehende Belehrung habe ich zur Kenntnis genommen:

Dortmund, 10.03.2014
Ort, Datum

Unterschrift