

# 1. Einführung

## 1.1. Motivation der Forschungsarbeit

Die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) ist in der Regel maßgeblich für die Effizienz, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit für ein produzierendes Unternehmen verantwortlich. Eine gute und robuste Planung ermöglicht es, die zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal zu nutzen sowie die eintreffenden (Kunden-)Bedarfe in Art, Menge und Termin zu erfüllen. Die Wichtigkeit wird unter anderem auch durch die immense Anzahl an wissenschaftlichen Publikationen, Fach- und Praxisvorträgen sowie der auf dem Markt befindlichen Enterprise Resource Planning Systeme (ERP-Systeme) und Produktionsplanungs- und Produktionssteuerungssysteme (PPS-Systeme) deutlich.

Bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller Steuergrößen, Restriktionen und Bedingungen kann über einen simultanen Planungsansatz ein optimaler Produktionsplan ermittelt werden. Das resultierende Optimierungsproblem ist aber aufgrund der hohen Anzahl an Parametern und Entscheidungsvariablen, die in der industriellen Praxis vorliegen, mit keinem derzeit bekannten Lösungsalgorithmus in hinnehmbarer Zeit lösbar. Ein weiteres Problem stellt die Bereitstellung aller zum Planungszeitpunkt notwendigen Informationen über den relevanten Planungshorizont in ausreichender Qualität dar.<sup>1</sup> Aus diesem Grund hat sich bereits vor über 40 Jahren der Ansatz der hierarchischen Produktionsplanung etabliert, der die methodische Grundlage kommerziell eingesetzter ERP- und PPS-Systeme bildet.<sup>2</sup> Hierbei erfolgt durch eine Dekomposition des Gesamtproblems in Teilplanungsprobleme eine sequentielle Betrachtung und Lösung der einzelnen Planungsmodulare. In der Regel ergeben sich hieraus die Planungsmodulare: Produktionsprogrammplanung, Bedarfsplanung und Fertigungssteuerung.<sup>3</sup> Die große Diskrepanz zwischen der in der wissenschaftlichen Literatur forcierten Ansätze und Modelle zur optimalen Lösung dieser Planungsmodulare und der in der industriellen Praxis verwendeten Heuristiken zeigt, dass bei weitem nicht alle theoretischen Methoden und Modelle praxisrelevant eingesetzt werden können. Auch hier sind als Gründe die hohe Laufzeit zur Lösung der Optimierungsmodelle, die Schwierigkeit der Bereitstellung der notwendigen Daten in ausreichender Menge und Qualität sowie eine mangelnde hierarchische Abstimmung der einzelnen Planungsaufgaben im Unternehmen anzuführen.

Maßgeblich für gute Planungsergebnisse in den einzelnen Planungsmodulen ist eine möglichst genaue Abschätzung der auftretenden Durchlaufzeiten. Die auftragsbezogene Durchlaufzeit beschreibt die Zeitspanne zwischen der Freigabe des Auftrags in das Produktions-

<sup>1</sup>Vgl. Claus u. a. (2015), S. 3ff. sowie Herrmann u. Manitz (2015), S. 7ff.

<sup>2</sup>Siehe hierzu die Arbeit von Hax u. Meal (1973).

<sup>3</sup>Siehe hierzu u. a. Herrmann (2011) und Günther u. Tempelmeier (2012).



system und der Fertigstellung des Auftrags, sodass dieser für nachfolgende Produktionsschritte verwendet, eingelagert oder zur Bedarfsdeckung ausgeliefert werden kann. In der Regel muss jeder Auftrag eine Folge von  $n$  Bearbeitungsschritten (nachfolgend als Vorgänge bezeichnet) auf den jeweiligen Bearbeitungsstationen durchlaufen. Die hier auftretenden Zeiten werden in Übergangs- sowie Durchführungszeiten unterteilt.<sup>4</sup> Übergangszeiten sind Wartezeiten aufgrund anderer Aufträge an der Bearbeitungsstation, prozessbedingte Liegezeiten (zum Beispiel Abkühlzeiten bei wärmebehandelnden Prozessen), Transportzeiten zu nachgelagerten Bearbeitungsstationen sowie der Transport in das Lager. Zu den Durchführungszeiten zählen das Rüsten der Bearbeitungsstation, die tatsächliche Bearbeitungszeit sowie das anschließende Abrüsten der Bearbeitungsstation. In Abbildung 1.1 sind die Bestandteile der auftragsbezogenen bzw. vorgangsbezogenen Durchlaufzeiten dargestellt.

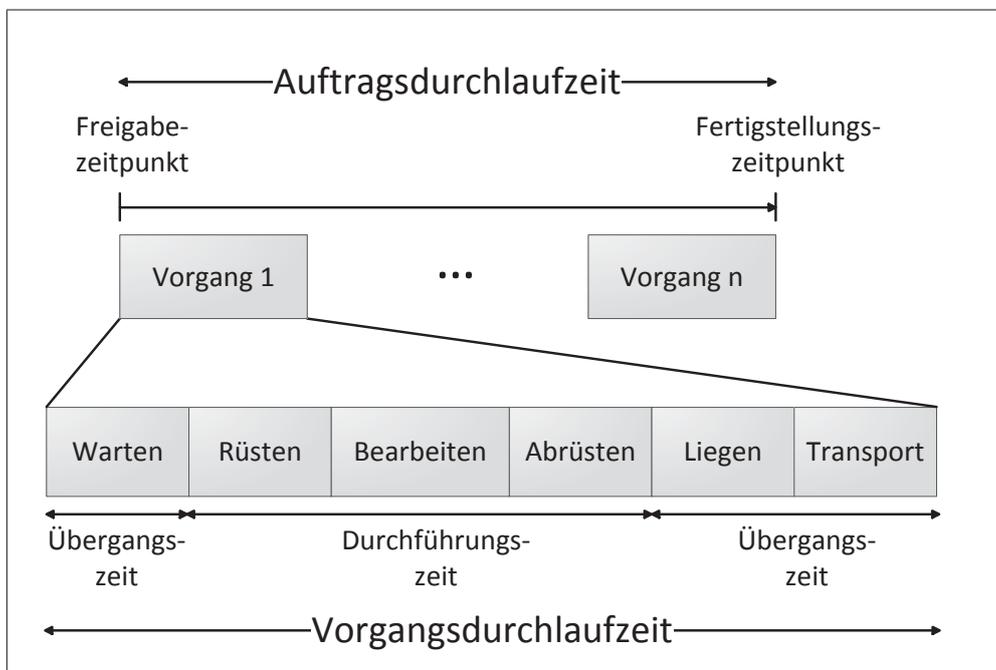


Abbildung 1.1.: Bestandteile der Durchlaufzeit (Abbildung in Anlehnung an Herrmann (2011), S. 291).

Die Durchführungszeiten sind in der Regel deterministische Größen, welche über die Stückbearbeitungszeiten und Rüstzeiten der Arbeitspläne gegeben sind.<sup>5</sup> Auch wenn diese Informationen nicht vorliegen, ist es möglich, diese über Messungen zu ermitteln und hierdurch eine gute Abschätzung dieser Werte zu erhalten. Analog trifft dies für die Liege- und Transportzeiten zu. Auch diese Zeiten können in der Regel hinreichend genau bestimmt

<sup>4</sup>Vgl. Corsten u. Gössinger (2012), S. 531 und Herrmann (2011), S. 291.

<sup>5</sup>Vgl. Corsten u. Gössinger (2012), S. 530.

werden. Die Wartezeit hingegen ist abhängig von der dynamischen Situation an den Bearbeitungsstationen. Ist ein großer Auftragsbestand vorhanden, so steigen die Wartezeiten der Vorgänge der individuellen Aufträge an. Die Wartezeit ist somit abhängig von den anderen Vorgängen, welche an der Bearbeitungsstation bearbeitet werden müssen, und ergibt sich somit aus der Konkurrenzsituation um die Bearbeitungsstation.<sup>6</sup> Untersuchungen zeigen, dass die Wartezeit einen erheblichen Anteil an der Durchlaufzeit hat. So wurden Anteile von bis zu 85% der Durchlaufzeit als Wartezeit gemessen.<sup>7</sup> Trotz dieser offensichtlichen Abhängigkeiten zwischen den Wartezeiten und dem Auftragsbestand im Produktionssystem werden Wartezeiten oft geschätzt und sind somit unabhängig von der Belastungssituation der Bearbeitungsstationen bzw. des Produktionssystems. Dies führt, wenn diese Wartezeiten und somit die Durchlaufzeiten unterschätzt werden, zu einer verspäteten Fertigstellung, wodurch eine termingerechte Bedarfsdeckung in der Regel nicht möglich ist.

Um Verspätungen zu vermeiden, können die Produktionsaufträge früher freigegeben werden, um somit einen zusätzlichen zeitlichen Puffer zwischen dem Freigabezeitpunkt und dem Bedarfszeitpunkt zu erhalten. Durch eine solche frühzeitige Freigabe der Produktionsaufträge erhöht sich im Gegenzug aber der Auftragsbestand und somit die Warteschlange vor den Bearbeitungsstationen. Dies führt dazu, dass die resultierenden Durchlaufzeiten steigen, was zur Konsequenz eine zusätzliche Erhöhung des zeitlichen Puffers notwendig macht. Durch eine noch frühere Freigabe der Aufträge steigen der Auftragsbestand und die resultierenden Durchlaufzeiten aber weiter an. Dieses Phänomen ist als sogenanntes Durchlaufzeitsyndrom bekannt, welches in Abbildung 1.2 dargestellt und als eine der Hauptursachen für die Entstehung von stark schwankenden Durchlaufzeiten anzusehen ist.<sup>8</sup>

Die Durchlaufzeiten werden maßgeblich durch die auftretenden Wartezeiten an den Bearbeitungsstationen bestimmt, welche von der Arbeitslast im Produktionssystem abhängen. Trotz dieser Abhängigkeiten werden die Durchlaufzeiten oft als Schätzwerte, basierend auf gemessenen Durchlaufzeiten, im Rahmen der Planung verwendet. So werden zum Beispiel durch den Planungsparameter der Vorlaufzeit diese geschätzten Durchlaufzeiten in der Materialbedarfsplanung berücksichtigt, um eine frühzeitige Freigabe zu realisieren.<sup>9</sup> In kommerziellen ERP- und PPS-Systemen wird der Parameter der Vorlaufzeit als Konstante hinterlegt und ist somit unabhängig von den tatsächlich geplanten Produktionsmengen sowie den daraus resultierenden Belastungen im Produktionssystem.<sup>10</sup> Diese Vorlaufzeiten entsprechen in der Regel einem Vielfachen der Planungsperiode und sind in diesem Fall ganzzahlige Werte. Wie in Hackman u. Leachman dargestellt, kann allerdings auch die Verwendung von reellen Werten der Vorlaufzeit sowie die Berücksichtigung von unterschiedlich großen Perioden erfolgen.<sup>11</sup> Generell sind aber diese detaillierteren Vorlaufzei-

---

<sup>6</sup>Vgl. Herrmann (2011), S. 290.

<sup>7</sup>Vgl. Stommel (1976), S. 142ff. und Corsten u. Gössinger (2012), S. 530.

<sup>8</sup>Vgl. Corsten u. Gössinger (2012), S. 585.

<sup>9</sup>Vgl. Orlicky (1975), S. 91f.

<sup>10</sup>Vgl. Herrmann (2011), S. 247.

<sup>11</sup>Vgl. Hackman u. Leachman (1989), S. 487f. sowie auf S. 489f.

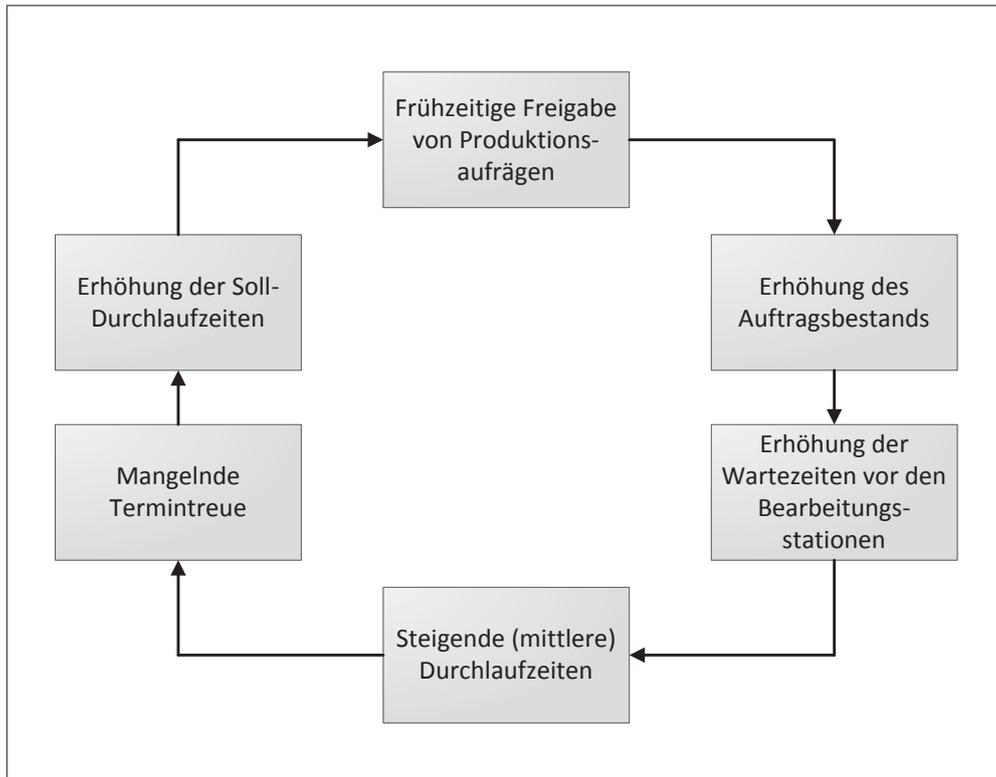


Abbildung 1.2.: Das Durchlaufzeitsyndrom (Abbildung in Anlehnung an Corsten u. Gössinger (2012), S. 587).

ten ebenfalls unabhängig von der Belastungssituation im Produktionssystem, sodass das grundsätzliche Problem hierdurch nicht entscheidend verbessert werden kann.

Bei steigender Auslastung einer Ressource steigen die mittlere Arbeitslast sowie die mittlere Durchlaufzeit nicht linear an.<sup>12</sup> Somit ist bei steigendem WIP-Bestand im Produktionssystem eine nicht lineare Erhöhung der Durchlaufzeiten und somit eine nicht lineare Verringerung der Ausbringungsmengen zu beobachten (siehe Abbildung 1.3).

Die Wartezeiten an den Bearbeitungsstationen sind abhängig vom Auftragsbestand, also der Arbeitslast im Produktionssystem, welche wiederum durch die Planungsentscheidungen bedingt wird.<sup>13</sup> Zur Berücksichtigung dieser nicht linearen Abhängigkeiten zwischen der Durchlaufzeit und der Arbeitslast im Produktionssystem werden in einer Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten sogenannte nicht lineare Clearing Funktionen<sup>14</sup> diskutiert. Durch solche Clearing Funktionen können die Abhängigkeiten zwischen der Arbeitslast und der Ausbringungsmenge beschrieben und im Rahmen von Planungsmodellen berücksichtigt werden. Hierdurch kann in der Regel eine Verbesserung der Planungsergebnisse erzielt werden.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird der methodische Ansatz der Clearing Funktionen verfolgt, weiterentwickelt und anhand der Auftragsfreigabe sowie Losgrößenplanung in praxisrelevanten Planungsproblemen eingesetzt, untersucht und evaluiert.

<sup>12</sup>Vgl. Hopp u. Spearman (2008), S. 317.

<sup>13</sup>Vgl. Missbauer u. Uzsoy (2011), S. 441.

<sup>14</sup>In der englischsprachigen Literatur wird der Begriff *clearing function* verwendet.

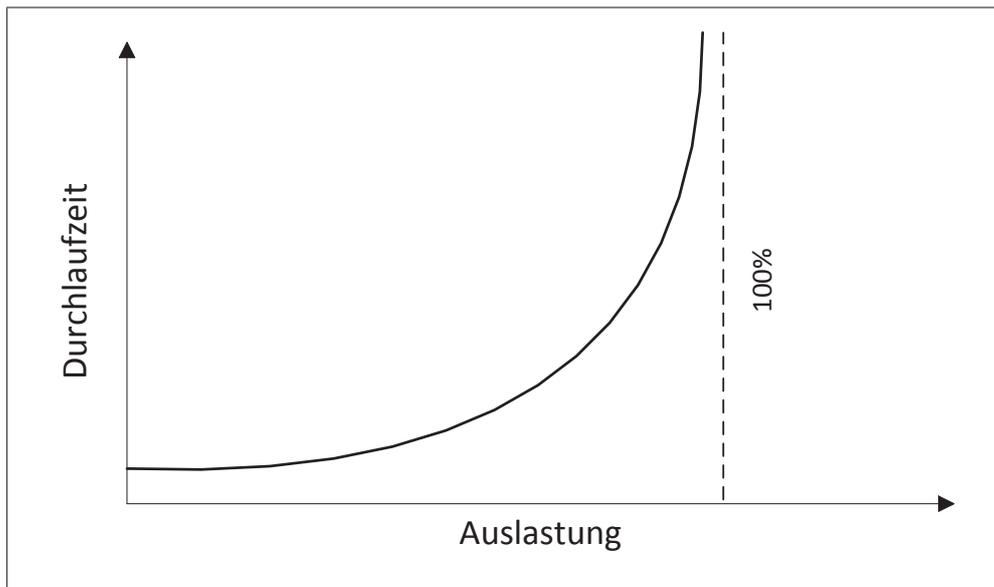


Abbildung 1.3.: Abhängigkeiten zwischen der Durchlaufzeit und der Auslastung (Abbildung in Anlehnung an Hopp u. Spearman (2008), S. 317 und Irdem (2009), S. 2).

## 1.2. Aufbau und Ziel der Forschungsarbeit

Diese Arbeit basiert auf dem Konzept der hierarchischen Produktionsplanung. In Kapitel 2 werden das Konzept der hierarchischen Produktionsplanung, ausgewählte Methoden der Auftragsfreigabe sowie Ansätze und Modelle der einstufigen Losgrößenplanung aufgezeigt. In der Literatur werden unterschiedliche Ansätze diskutiert, wie eine solche Clearing Funktion aufgestellt werden kann. In Kapitel 3 erfolgt eine Übersicht der relevanten Literatur zur Clearing Funktion sowie der darin beschriebenen Möglichkeiten, eine solche Funktion zu ermitteln. Grundsätzlich kann hierbei zwischen einer analytischen und simulationsbasierten Ermittlung unterschieden werden. In dieser Forschungsarbeit wird der simulationsbasierte Ansatz verfolgt und ein Vorgehen zur Ermittlung von produktspezifischen Clearing Funktionen vorgestellt. In Kapitel 4 wird das Produktionssystem, welches dieser Forschungsarbeit zu Grunde liegt, dargestellt. Basierend auf diesem Produktionssystem erfolgt die Anwendung des in dieser Forschungsarbeit entwickelten Ansatzes zur Messung von produktspezifischen Clearing Funktionen sowie die Untersuchung und Evaluierung der entwickelten Modelle und Ansätze zur Verwendung der Clearing Funktion im Rahmen der Auftragsfreigabe und einstufigen Losgrößenplanung. Die Verwendung der Clearing Funktion im Rahmen der Auftragsfreigabe wird in Kapitel 5 beschrieben. Hier erfolgt eine Übersicht der aus der Literatur bekannten Modelle, in welche eine Integration der Clearing Funktion durchgeführt wird. Hierauf aufbauend wird ein Modell mit produkt- und periodenspezifischen Durchlaufzeiten entwickelt, die durch eine Integration der produktspezifischen Clearing Funktionen bestimmt werden. In einer erweiterten Betrachtung wird die Berücksichtigung von Bedarfsunsicherheiten durch die Integration von Servicegraden untersucht. Im Rahmen von Langzeitsimulationsstudien erfolgen eine Untersuchung sowie



ein Vergleich der in dieser Forschungsarbeit entwickelten und der aus der Literatur bekannten Modelle. Durch die Clearing Funktion ist es möglich, belastungsabhängige Durchlaufzeiten zu ermitteln und zu berücksichtigen. Hierdurch kann auch eine Abschätzung der für die Produktion benötigten sowie der verfügbaren Kapazitäten abgeleitet werden. Im Rahmen der dynamischen einstufigen Losgrößenplanung wird aufgezeigt, wie die Clearing Funktion in diesem Sinne, also einer Abschätzung der verfügbaren bzw. benötigten Kapazitäten, verwendet werden kann. Hierzu werden in Kapitel 6, aufbauend auf dem aus der Literatur bekannten Modell zur einstufigen Losgrößenplanung, unterschiedliche Modellvarianten entwickelt, welche die Informationen der Clearing Funktion verwenden, um eine Verbesserung der Kapazitätsabschätzung zu erreichen. Diese Modelle werden mit den aus der Literatur bekannten und aus der industriellen Praxis angewendeten Modelle durch Langzeitsimulationsstudien miteinander verglichen. In Kapitel 7 erfolgt eine Zusammenfassung dieser Arbeit sowie ein Ausblick.

Der Beitrag sowie die Ziele dieser Forschungsarbeit sind nachfolgend nochmals zusammengefasst:

- Entwicklung einer Methodik zur Bestimmung von produktspezifischen Clearing Funktionen durch den Einsatz von Langzeitsimulationen
- Erweiterung der aus der Literatur bekannten Modelle der Auftragsfreigabe für eine direkte Integration der produktspezifischen Clearing Funktionen zur Ermittlung und Berücksichtigung von belastungsabhängigen Durchlaufzeiten
- Integration von Servicegraden in die erweiterten Modelle der Auftragsfreigabe zur Berücksichtigung von Bedarfsunsicherheiten
- Evaluierung der Planungsgüte der hierdurch entwickelten Modelle zur Auftragsfreigabe durch Experimente auf Basis von Langzeitsimulationsstudien
- Erweiterung der dynamischen einstufigen Losgrößenplanung um Kapazitätsinformationen basierend auf den produktspezifischen Clearing Funktionen
- Evaluierung der Planungsgüte der hierdurch entwickelten Modelle zur Losgrößenplanung durch Experimente auf Basis von Langzeitsimulationsstudien

## 2. Hierarchische Produktionsplanung und -steuerung

In diesem Abschnitt erfolgt ein Überblick über die in der Literatur sowie industriellen Praxis weit verbreitete und eingesetzte hierarchische Produktionsplanung und -steuerung. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit werden die Planungsprobleme der Auftragsfreigabe sowie der einstufigen Losgrößenplanung fokussiert. Grundsätzliche Methoden der Auftragsfreigabe sowie der einstufigen Losgrößenplanung werden aufgezeigt und Ansatzpunkte zur Nutzung von Clearing Funktionen beschrieben.

### 2.1. Konzept der hierarchischen Produktionsplanung und -steuerung

In der industriellen Praxis ist der Einsatz von Enterprise Resource Planning (ERP) Systemen und Produktionsplanungs- und Produktionssteuerungssystemen (PPS-Systemen) unabdingbar, um den Anforderungen einer ganzheitlichen Planung gerecht zu werden. Unter Berücksichtigung aller Steuergrößen, Restriktionen und Bedingungen kann durch einen simultanen Planungsansatz ein optimaler Produktionsplan erstellt werden. Eine solche Simultanplanung erreicht in einem einzigen Planungsschritt ein Optimum bei Einhaltung aller Restriktionen unter Berücksichtigung aller relevanten Entscheidungsparameter sowie vorliegenden Interdependenzen.<sup>1</sup> Das hierbei entstehende Optimierungsmodell ist unter industriellen Rahmenbedingungen aufgrund der immensen Anzahl von Entscheidungsvariablen, Parametern und Restriktionen auch mit den schnellsten bekannten Lösungsalgorithmen nicht in annehmbarer Zeit lösbar.<sup>2</sup> Darüber hinaus erfordert eine simultane Betrachtung aller Planungsaspekte eine sehr gute und insbesondere detaillierte Datenbasis über den gesamten Planungszeitraum sowie eine Integration der hierarchischen Strukturen des Unternehmens, was in der industriellen Praxis in der Regel nur sehr schwer realisiert werden kann.<sup>3</sup> Aus diesen Gründen hat sich in der Praxis der Einsatz von sogenannten hierarchischen Planungskonzepten etabliert, die auf einer hierarchischen Sukzessivplanung beruhen und einen zunehmenden Detaillierungsgrad aufweisen.

Bereits in den 80er Jahren wurde der Begriff der Produktionsplanung und -steuerung geprägt, um Planungsaufgaben der produzierenden Industrie unter einem übergreifenden

---

<sup>1</sup>Vgl. Hansmann (2006), S. 244ff.

<sup>2</sup>Vgl. Herrmann (2011), S. 195.

<sup>3</sup>Vgl. Corsten u. Gössinger (2012), S. 565.



Konzept zusammenzufassen. Diese sind ein zentraler Bestandteil der produzierenden Unternehmen.<sup>4</sup> In industriellen Unternehmen erfolgt im Rahmen der Produktionsplanung die Festlegung des Produktionsprogramms, die Bereitstellung der notwendigen Produktionsfaktoren<sup>5</sup> sowie die Gestaltung der Produktionsprozesse.<sup>6</sup> Der Begriff der Produktion wird von Steven als „eine sinnvolle, zweckgerichtete Kombination der elementaren Produktionsfaktoren Betriebsmittel, Werkstoffe und objektbezogener Arbeit und ihre Transformation in Sachgüter und Dienstleistungen“<sup>7</sup> definiert. Somit ist der Begriff Produktion im industriellen Umfeld als die Erzeugung von Gütern aus Produktionsfaktoren unter Berücksichtigung technischer Randbedingungen aufzufassen.<sup>8</sup> Ferner ist der Begriff Planung als systematisch durchgeführter Entscheidungsprozess zu definieren.<sup>9</sup> Die Aufgaben der operativen PPS sieht Zäpfel darin, „aufgrund erwarteter und/oder vorliegender Kundenaufträge den mengenmäßigen und zeitlichen Produktionsablauf unter Beachtung der verfügbaren Ressourcen (z. B. Kapazitäten) durch Planvorgaben festzulegen, diese zu veranlassen sowie zu überwachen und bei Abweichungen Maßnahmen zu ergreifen, sodass bestimmte betriebliche Ziele erreicht werden“<sup>10</sup>. Somit ist die Produktionsplanung und -steuerung ein zentraler Bestandteil eines jeden produzierenden Unternehmens.

In heute kommerziell eingesetzten ERP- und PPS-Systemen bildet die von Hax u. Meal vorgeschlagene hierarchische Produktionsplanung die methodische Grundlage.<sup>11</sup> Hierbei erfolgt eine Aufteilung der Aufgabenbereiche der PPS in hierarchische Stufen, welche sequentiell gelöst werden. In der Regel führt diese Dekomposition zu den Planungsmodulen: Produktionsprogrammplanung, Bedarfsplanung und Ressourcenbelegungsplanung, wie in Abbildung 2.1 aufgezeigt.<sup>12</sup> Die Ergebnisse einer hierarchisch übergeordneten Planungsstufe bilden die Rahmendaten der hierarchisch nachfolgenden Planungsstufe, sodass die Qualität der Planungsergebnisse eines Teilplanungsproblems maßgeblich für die Qualität der nachfolgenden Planungsentscheidungen verantwortlich ist.<sup>13</sup>

Im Rahmen der Produktionsprogrammplanung erfolgt die Planung nach Art, Menge und Termin der herzustellenden Enderzeugnisse sowie verkaufsfähigen Zwischenerzeugnisse unter Berücksichtigung der Absatzmöglichkeiten sowie der verfügbaren Ressourcen.<sup>14</sup> Die Planung wird hierbei über einen langen Planungshorizont von bis zu mehreren Jahren und einer Periodeneinteilung auf Monatsbasis durchgeführt. Die Produktionsprogrammplanung wird in der Regel in zwei Planungsschritten, welche sich wesentlich im Grad der zeitlichen und sachlichen Aggregation unterscheiden, ausgeführt.<sup>15</sup> So beschreiben Drexl

<sup>4</sup>Vgl. Schuh (2006), S. 4ff.

<sup>5</sup>Als Produktionsfaktoren werden Betriebsmittel (z. B. technische Geräte), Leistungsobjekte (z. B. Werkstoffe) sowie Arbeit (z. B. menschliche Arbeitsleistung) unterschieden (vgl. Diederich (1989), S. 134).

<sup>6</sup>Vgl. Gutenberg (1983), S. 149.

<sup>7</sup>Steven (1994), S. 4.

<sup>8</sup>Vgl. Günther u. Tempelmeier (2012), S. 6.

<sup>9</sup>Vgl. Diederich (1989), S. 66f.

<sup>10</sup>Zäpfel (2001), S. 56.

<sup>11</sup>Vgl. Hax u. Meal (1973), S. 3ff.

<sup>12</sup>Vgl. Herrmann (2011), S. 195ff. und Günther u. Tempelmeier (2012), S. 145ff.

<sup>13</sup>Vgl. Melzer-Ridinger (1994), S. 32ff.

<sup>14</sup>Vgl. Zäpfel (2001), S. 56f.

<sup>15</sup>Vgl. Kiener (2012), S. 178.

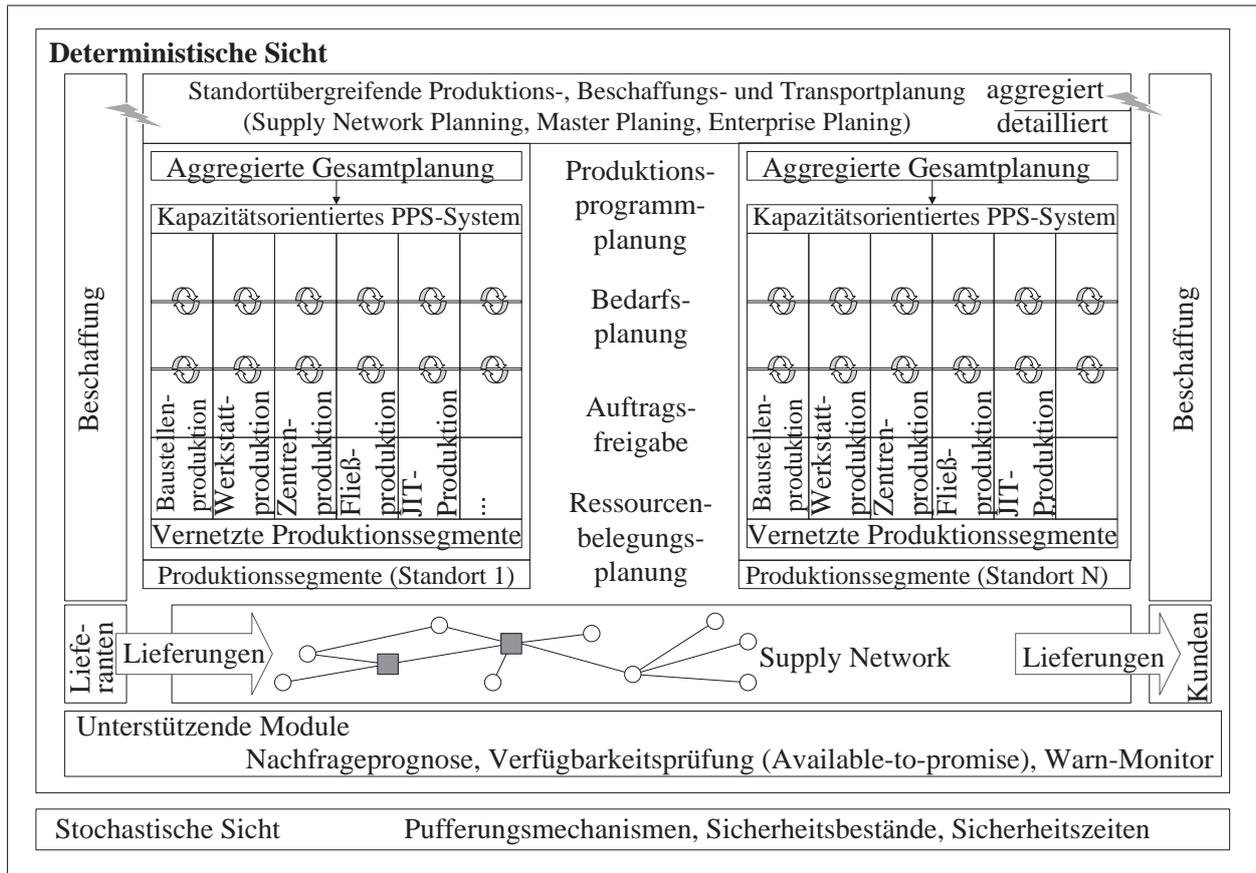


Abbildung 2.1.: Übersicht der Planungsaufgaben in der industriellen Praxis (Abbildung in Anlehnung an Günther u. Tempelmeier (2012), S. 342).

u. a. sowie Günther u. Tempelmeier die aggregierte Produktionsprogrammplanung<sup>16</sup> sowie die Hauptproduktionsprogrammplanung<sup>17</sup> zur Festlegung des optimalen Produktionsprogramms, bei welchem die Summe der Lagerkosten sowie die Kosten für Überkapazitäten minimal sind.<sup>18</sup> Unter industriellen Randbedingungen kann die Produktionsprogrammplanung effektiv und in moderater Laufzeit gelöst werden.<sup>19</sup> Dies ist aufgrund des hohen Aggregationsgrades sowohl auf der Produktebene durch die Bildung von Produkttypen, auf der Ressourcenebene durch die Zusammenfassung gleichartiger Maschinen, als auch auf der zeitlichen Ebene durch die Betrachtung langer und großer Zeitperioden zurückzuführen. Um das Produktionsprogramm umsetzen und die Endprodukte herstellen zu können, müssen die dazu benötigten Materialien und Komponenten in der richtigen Menge und zum richtigen Zeitpunkt bereitgestellt werden. Hierzu ist ein mehrstufiges Losgrößenproblem mit beschränkten Kapazitäten zu lösen. Das zu lösende Optimierungsproblem ist in

<sup>16</sup>Bekannt als das Optimierungsmodell AGGRPLAN (vgl. Günther u. Tempelmeier (2012), S. 162).

<sup>17</sup>Bekannt als das Optimierungsmodell HPPLAN (vgl. Günther u. Tempelmeier (2012), S. 175).

<sup>18</sup>Vgl. Günther u. Tempelmeier (2012), S. 147f. und S. 175f.

<sup>19</sup>Vgl. Günther u. Tempelmeier (2012), S. 163 und S. 177.



der Literatur als *Multi-Level Capacitated Lot-Sizing Problem (MLCLSP)* bekannt.<sup>20</sup> Das MLCLSP ist NP-Vollständig<sup>21</sup>, sodass eine exakte Lösung, insbesondere unter industriellen Randbedingungen, nicht ohne Weiteres möglich ist.<sup>22</sup> Aus diesem Grund werden Heuristiken und problemspezifische Ansätze zur Lösung dieses Optimierungsproblems entwickelt und angewendet.<sup>23</sup> Die Planung erfolgt hierbei auf Basis von Wochen bzw. Tagen und ist somit deutlich disaggregierter als in der Produktionsprogrammplanung. In der nachfolgenden Planungsstufe erfolgt die Ressourcenbelegungsplanung und somit die konkrete Zuweisung der Produktionsaufträge zu den entsprechenden Arbeitsstationen. Das hierbei zu lösende Problem ist in der Literatur als das *Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)* bekannt.<sup>24</sup> Hierbei erfolgt eine sekundengenaue Zuteilung der Produktionsaufträge auf die Bearbeitungsstationen unter Beachtung derer Rüstzustände, Verfügbarkeiten sowie der verfügbaren Kapazitäten. Ziel ist eine Minimierung der Durchlaufzeit unter Einhaltung der vorliegenden Restriktionen, sodass alle Arbeitsgänge rechtzeitig beendet, die Reihenfolge der Arbeitsgänge eingehalten sowie die verfügbaren Kapazitäten nicht überschritten werden. Auch das RCPSP ist NP-Vollständig<sup>25</sup>, sodass eine exakte Lösung unter industriellen Rahmenbedingungen nicht ohne Weiteres möglich ist. Aus diesem Grund wurden ebenfalls für dieses Optimierungsproblem spezielle Algorithmen und Heuristiken entwickelt.<sup>26</sup>

Trotz der Entwicklung solcher speziellen Heuristiken werden in kommerziell verfügbaren PPS-Systemen in der Regel mit einfachen Ansätzen die Planungsprobleme gelöst. So erfolgt die Bedarfsplanung im Rahmen der programmorientierten Materialbedarfsplanung (*Material Requirement Planning (MRP)*)<sup>27</sup> durch einfache Algorithmen, wie zum Beispiel dem Dispositionsstufenverfahren.<sup>28</sup> Hierbei wird eine isolierte Ermittlung der Auftragsgrößen für jedes End- bzw. Vorprodukt ohne Beachtung der gegenseitigen Abhängigkeiten und der Konkurrenz der Erzeugnisse um begrenzte Ressourcen durchgeführt. Zudem werden die durch die Mehrstufigkeit der Erzeugnisstruktur bedingten kostenmäßigen Interdependenzen nicht ausreichend berücksichtigt.<sup>29</sup> Dies führt dazu, dass die erzielten Planungsergebnisse oft unzureichend sind und nicht selten in unzulässige Produktionspläne resultieren. Durch Erweiterungen des MRP um die Berücksichtigung von beschränkten Kapazitäten sowie die Prävention offensichtlicher Kapazitätsüberlastungen<sup>30</sup>, können die Pla-

<sup>20</sup>Vgl. Billington u. a. (1983), S. 1131, Tempelmeier (2008), S. 205f., Herrmann (2009), S. 333f., Buschkühl u. a. (2010), S. 233 sowie Tempelmeier (2012), S. 130ff.

<sup>21</sup>Ein Optimierungsproblem ist NP-Vollständig, wenn der Lösungsaufwand (also die Laufzeit zur Lösungsfindung) exponentielle bzw. polynomial mit der Problemgröße ansteigt (vgl. Herrmann (2011), S. 13).

<sup>22</sup>Vgl. Maes u. a. (1991), S. 135.

<sup>23</sup>Siehe hierzu Sahling u. Helber (2010), S. 42ff. und Tempelmeier (2012), S. 209ff.

<sup>24</sup>Vgl. Brucker u. a. (1999), S. 4ff. und Günther u. Tempelmeier (2012), S. 219f.

<sup>25</sup>Vgl. Brucker u. Knust (2006), S. 91.

<sup>26</sup>Siehe hierzu u. a. die Arbeiten von Bouleimen u. Lecocq (2003), Gonçalves u. a. (2008), Valls u. a. (2008), Mendes u. a. (2009), Damak u. a. (2009) sowie Paraskevopoulos u. a. (2012).

<sup>27</sup>Vgl. Orlicky (1975), S. 33ff.

<sup>28</sup>Vgl. Herrmann (2009), S. 294ff. Herrmann (2011), S. 229ff. oder Günther u. Tempelmeier (2012), S. 196ff.

<sup>29</sup>Vgl. Herrmann (2011), S. 248 und Günther u. Tempelmeier (2012), S. 199.

<sup>30</sup>Vgl. Billington u. a. (1983), S.1130ff., Tardif u. Spearman (1997), S. 870ff., Vollmann (2010), S. 250ff.