



Julian Englberger (Autor)  
**Stochastische Optimierung zur  
Hauptproduktionsprogrammplanung unter Unsicherheit**

**Schriften zur Produktionsplanung**

**Band 1**

Herausgeber:  
Thorsten Claus / Frank Herrmann

---

Julian Englberger

**Stochastische Optimierung zur  
Hauptproduktionsprogrammplanung  
unter Unsicherheit**



Cuvillier Verlag Göttingen  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7595>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



# 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Problem der Optimierung der Produktionsplanung unter Unsicherheit.

Um im Wettbewerb bestehen zu können, verfolgen Unternehmen Strategien<sup>1</sup>, ihre Produkte als gegenüber denen der Wettbewerber hochwertiger oder preisgünstiger zu platzieren.

Dies ist nur in so weit dauerhaft erfolgversprechend, als die Platzierung den tatsächlichen Fähigkeiten des Unternehmens entspricht: Eine schnelle und zuverlässige Belieferung von Kunden kann nur ein Unternehmen zur Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb nutzen, welches tatsächlich in der Lage ist, schnell und zuverlässig zu liefern; eine Strategie der Preisführerschaft ist nur dann dauerhaft tragfähig, wenn im Unternehmen auch tatsächlich niedrigere Kosten anfallen als bei vergleichbaren Wettbewerbern.

Die zur Verfügung stehenden strategischen Handlungsoptionen werden also durch die tatsächlichen Fähigkeiten des Unternehmens begrenzt. Um bei der Wahl der erfolgsversprechendsten Strategie möglichst wenig eingeschränkt zu sein, müssen deshalb die Fähigkeiten möglichst umfassend sein.

Dazu müssen mehrere Faktoren optimiert werden, etwa die Produktentwicklung, indem sie die Belange der Produktion bereits frühzeitig im Produktdesign berücksichtigt, und die Produktionsprozesse, indem sie zur kostengünstigen Erfüllung qualitativer Anforderungen an das Produkt führen, sowie die operative Produktionsplanung und -steuerung, indem sie die Produktion unter optimaler Ausnutzung der gegebenen Potentiale ermöglicht.

Diese Produktionsplanung und -steuerung entscheidet, welche Produkte wann mit welchen Ressourcen gefertigt werden. Dadurch nimmt sie wesentlichen Einfluss auf die zur Produktion notwendige Durchlaufzeit – sowohl hinsichtlich Mittelwert als auch Streuung – und beeinflusst gleichzeitig Produktionskosten und Auslastung der Produktionsinfrastruktur. Allerdings sind die Entscheidungen der Produktionsplanung und -steuerung in der Regel so komplex, dass eine intuitive Entscheidung selten zu hinreichend guten Ergebnissen führt. Deshalb stehen den Entscheidungsträgern in der Produktion in den meisten Unternehmen Entscheidungsunterstützungssysteme zur Verfügung, welche eine Vielzahl möglicher Entscheidungsoptionen bewerten und diejenigen vorschlagen, welche zur Problemlösung am besten geeignet erscheinen.

Während anfänglich der Fokus beim Einsatz solcher Systeme auf einfachen Verfahren lag, welche bisweilen wesentliche Planungsrestriktionen nicht berücksichtigten<sup>2</sup>,

---

<sup>1</sup>Siehe bspw. Porter (1980).

<sup>2</sup>Ein Beispiel für solche Verfahren ist das im weiteren Verlauf der Arbeit mehrfach diskutierte



finden seit der Einführung sogenannter Advanced-Planning-Systeme<sup>3</sup> zunehmend mathematische Optimierungsmodelle Anwendung in der unternehmerischen Praxis. Dabei werden die zu lösenden Probleme mathematisch modelliert und mittels oft weitgehend problemunabhängiger Algorithmen gelöst. Die Qualität der Lösungen ist im Allgemeinen umso besser, je genauer das Problem modelliert werden kann; andererseits führt aber eine sehr genaue Modellierung bei vielen Problemen im Produktionsumfeld dazu, dass eine Lösung des Problems mit den zur Verfügung stehenden Lösungsverfahren und Rechenkapazitäten nicht ausreichend schnell möglich ist. Die möglichst zweckmäßige Modellierung der zu lösenden Probleme ist deshalb Gegenstand umfangreicher Forschungsprojekte und -aktivitäten.<sup>4</sup>

Dabei wurde besonders der Einfluss von Planungsparametern, die zum Planungszeitpunkt (noch) nicht für den gesamten Planungshorizont bekannt sind, lange Zeit zu Gunsten der einfacheren Lösbarkeit nicht hinreichend genau modelliert. Diese *Unsicherheit* der Planungsparameter kann etwa auftreten, weil sich die zukünftigen Kaufentscheidungen potentieller Kunden und die daraus resultierenden Kundenbedarfe nur eingeschränkt zuverlässig vorhersagen lassen, oder weil ein Produktionssystem so komplex ist, dass sich die Durchlaufzeiten einzelner Produktionsaufträge nur grob abschätzen lassen. Wurde die Planung mit solchen – zum Planungszeitpunkt als unsicher, in der Retrospektive häufig als unzutreffend einzustufenden – Planungsparametern durchgeführt, so sind die aus ihr resultierenden Lösungsvorschläge nur eingeschränkt verwendbar und oft im Sinne des ursprünglich zu lösenden Problems suboptimal. Gleichzeitig führen solche Lösungen in der Praxis häufig dazu, dass das Vertrauen in die verwendeten Planungssysteme leidet.

Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, die Methoden zur Berücksichtigung von Unsicherheit im Rahmen der operativen Produktionsplanung und -steuerung weiterzuentwickeln. Dazu werden Optimierungsmodelle zur Hauptproduktionsprogrammplanung so modifiziert, dass unsichere Planungsparameter besser berücksichtigt werden können.

Im Gegensatz zu der Vielzahl von Arbeiten, die sich bereits der Untersuchung von isoliert betrachteten Produktionsplanungsproblemen unter Unsicherheit widmen, zielt diese Arbeit insbesondere darauf ab, die Wechselwirkungen zwischen entsprechend modifizierter Hauptproduktionsprogrammplanung und weiteren in der operativen Produktionsplanung und -steuerung eingesetzten Planungsverfahren zu berücksichtigen. Dies ist insbesondere für die Anwendung dieser Verfahren in der unternehmerischen Praxis von Bedeutung. Die auftretenden Wechselwirkungen werden durch den Einsatz eines Simulationsmodells abgebildet, in welchem eine realitätsnahe Planungs-umgebung sowie eine Produktion simuliert werden.

---

Dispositionsstufenverfahren, durch welches Produktionslose ohne Berücksichtigung der in Produktionssystemen typischerweise vorhandenen Kapazitätsrestriktionen bestimmt werden.

<sup>3</sup>Siehe u.a. Günther und Tempelmeier (2012, Seite 359ff) und Fleischmann u. a. (2008, Seite 86f).

<sup>4</sup>Beispielhaft seien hier die Formulierungsalternativen zum mehrstufigen kapazitierten Losgrößenproblem in Almeder und Traxler (2015, Seite 93ff) und die Ansätze zur Festlegung von Sicherheitsbeständen im Bestandsmanagement in Minner und Stöblein (2015, Seite 210ff) genannt.



---

Der weitere Verlauf dieser Arbeit ist wie folgt gegliedert: In Kapitel 2 wird das Untersuchungsobjekt, nämlich die operative Produktionsplanung und -steuerung, eingeführt und in das Umfeld der in Unternehmen typischerweise anzutreffenden Produktionsplanungsaufgaben eingeordnet. In Kapitel 3 werden in der Literatur diskutierte Ansätze zur Berücksichtigung unsicherer Parameter vorgestellt und die bei der Gesamtschau dieser Arbeiten sichtbare Forschungslücke konkretisiert. In Kapitel 4 wird das verwendete Simulationsmodell einschließlich der darin eingesetzten Planungsalgorithmen eingeführt. Die Kapitel 5 und 6 beleuchten zwei besonders stark von Unsicherheit betroffene Aspekte der Hauptproduktionsprogrammplanung im Detail, nämlich einerseits die Unsicherheit der Bedarfe, die durch ein Produktionsprogramm befriedigt werden müssen, und andererseits der Kapazitätsbelastung, die durch die Umsetzung eines Produktionsprogramms entsteht. In Kapitel 7 werden die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf noch offene Forschungsfragen im näheren Umfeld der Arbeit gegeben.



## 2. Operative Produktionsplanung und -steuerung

„Produktion [...] ist ein Prozess, bei dem zum Zweck der Erstellung von Gütern Produktionsfaktoren kombiniert und transformiert werden.“<sup>1</sup>

Ziel der Produktion ist die Wertschöpfung, weswegen sie eine zentrale Position in den Geschäftsmodellen vieler Unternehmen einnimmt.<sup>2</sup> Aus diesem Ziel lassen sich einige allgemeine Anforderungen an eine Produktion ableiten:<sup>3</sup>

- *Kurze Durchlaufzeiten* und *hohe Produktionsgeschwindigkeiten* führen zu einer hohen Umschlaghäufigkeit des eingesetzten Kapitals und ermöglichen so eine möglichst hohe Verzinsung des eingesetzten Kapitals. Gleichzeitig ermöglichen kurze Durchlaufzeiten eine zügige Erfüllung von Kundenaufträgen, was in einigen Märkten förderlich für die Erzielung hoher Umsätze sein kann.
- Eine *hohe Qualität* der produzierten Güter fördert deren Absetzbarkeit und wirkt sich dadurch ebenfalls positiv auf den Umsatz aus; gleichzeitig vermeidet sie Kosten aufgrund potentieller Reklamationen oder Nacharbeiten, die aus Gewährleistungsansprüchen der Kunden resultieren.
- Die *Wirtschaftlichkeit* einer Produktion zeichnet sich in vielen Fällen dadurch aus, dass sie nicht mehr Kosten verursacht, als dies bei Wettbewerbern der Fall wäre. Da sich aber regelmäßig die Ermittlung wettbewerbsfähiger Kosten schwierig gestaltet, schlagen Günther und Tempelmeier vor, stattdessen die „ständige Weiterentwicklung und Verbesserung der technischen und sozialen Prozesse im Industriebetrieb“<sup>4</sup> anzustreben.
- Insbesondere vor dem Hintergrund der Langfristigkeit des Gewinnmaximierungsziels ist auch eine hohe *Flexibilität* der Produktion hinsichtlich neuer Technologien, Produkte und Umwelteinflüsse notwendig.<sup>5</sup>

Wegen der zentralen Rolle der Produktion in produzierenden Unternehmen sind die Entscheidungen über ihre konkrete Ausgestaltung und ihren Betrieb für die Geschäftsmodelle dieser Unternehmen essentiell. Um die betrieblichen Entscheidungs-

---

<sup>1</sup>Siehe Domschke und Scholl (2003, Seite 85).

<sup>2</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 2f).

<sup>3</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 3f).

<sup>4</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 4).

<sup>5</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 3ff), Schuh u. a. (2012, Seite 29).

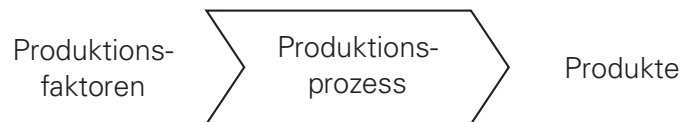


Abbildung 2.1.: Produktionsprozess (in Anlehnung an Domschke und Scholl (2003, Seite 85))

träger in die Lage zu versetzen, die Ansprüche an die Produktion möglichst weitgehend zu erfüllen, versucht die entscheidungsorientierte Betriebswirtschaftslehre<sup>6</sup> deshalb, dem „betrieblichen Entscheidungsträger zweckmäßige und geeignete Vorschläge im Hinblick auf die bestmögliche Erreichung seiner Ziele“<sup>7</sup> zu unterbreiten.

Die vorliegende Arbeit greift einen wichtigen Teilaspekt dieser entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre heraus: Sie beschäftigt sich mit der Planung des operativen Betriebs einer Produktion, der sogenannten operativen Produktionsplanung und -steuerung.

Zunächst werden Grundlagen zu Produktion und Produktionsplanung erläutert. Dann wird die hierarchische Produktionsplanung und -steuerung als konzeptionelle Grundlage dieser Arbeit vorgestellt. Abgeschlossen wird das Kapitel mit der Einführung der Hauptproduktionsprogrammplanung, deren Weiterentwicklung den Kern der vorliegenden Arbeit bildet.

## 2.1. Produktion und Produktionsplanung

In der Produktion werden Produktionsfaktoren in Produktionsprozessen zu Produkten kombiniert und transformiert (siehe Abbildung 2.1).<sup>8</sup> Gemäß Domschke und Scholl umfasst die Produktionsplanung die Planung all dieser drei Elemente.<sup>9</sup>

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Optimierung der Produktionsplanung. Dazu ist ein Zielsystem für die Produktionsplanung erforderlich. Dieses leitet sich aus den Unternehmenszielen ab.

Das Ziel der meisten Unternehmen ist die langfristige Gewinnmaximierung.<sup>10</sup> Sie wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit durch die Maximierung des Geschäftswertbeitrags<sup>11</sup> operationalisiert.<sup>12</sup>

<sup>6</sup>Zur Definition und Abgrenzung siehe Domschke und Scholl (2003, Seite 23).

<sup>7</sup>Siehe Domschke und Scholl (2003, Seite 23).

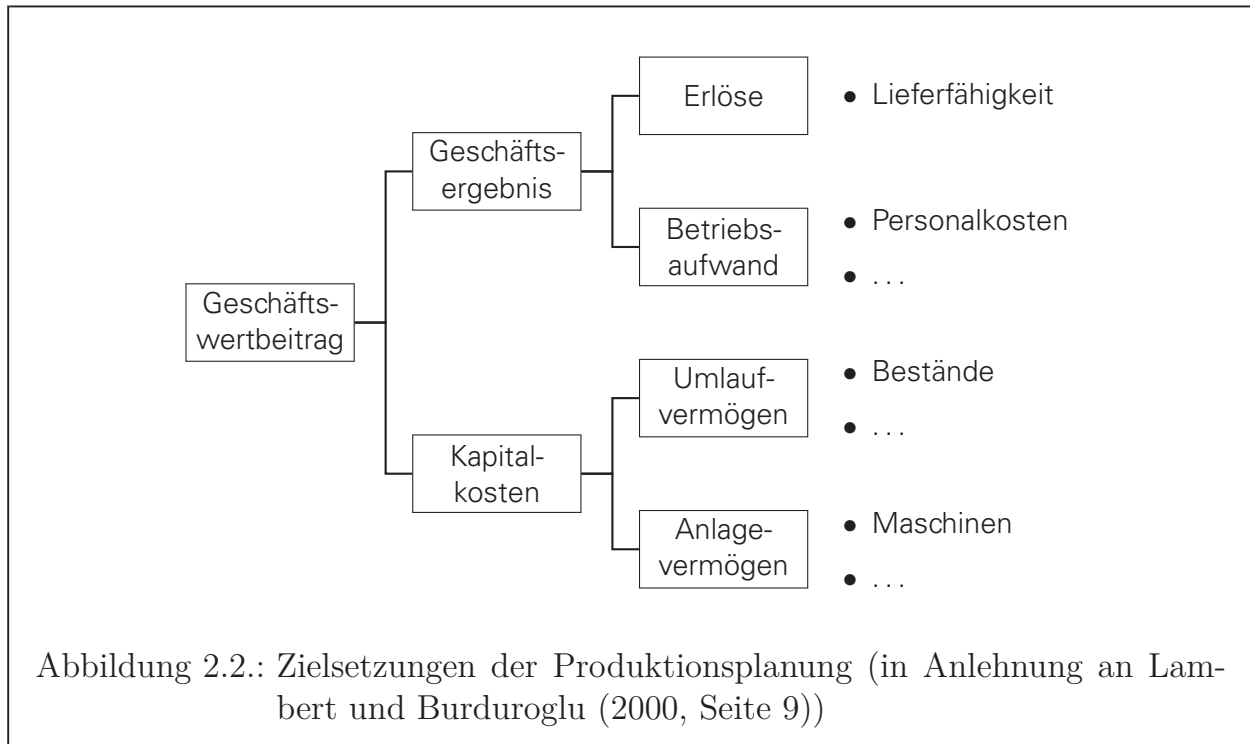
<sup>8</sup>Siehe Domschke und Scholl (2003, Seite 85), Günther und Tempelmeier (2012, Seite 6).

<sup>9</sup>Siehe Domschke und Scholl (2003, Seite 109).

<sup>10</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 2), Domschke und Scholl (2003, Seite 8).

<sup>11</sup>Dieser ist definiert als der Quotient aus *Net Profit* und *Net Worth*, siehe Lambert und Burduroglu (2000).

<sup>12</sup>Siehe Lambert und Burduroglu (2000).



Dieser Geschäftswertbeitrag ist im Rahmen der Produktion primär kostenseitig durch eine Reduktion der Produktionskosten beeinflussbar, zusätzlich lässt er sich jedoch durch eine hohe Lieferfähigkeit auch umsatzseitig positiv beeinflussen. Die Kapitalkosten lassen sich durch möglichst geringes Anlagevermögen – beispielsweise in Form von Produktionsmaschinen – und möglichst niedriges Umlaufvermögen – primär in Form von Lager- und Work-in-Progress-Beständen – minimieren (siehe Abbildung 2.2).<sup>13</sup> Im Rahmen der operativen Produktionsplanung und -steuerung werden die nutzbaren Produktionsmaschinen in der Regel als gegeben betrachtet. Deswegen ist die Betrachtung des Anlagevermögens zur Beurteilung einer operativen Produktionsplanung und -steuerung nicht relevant.

Die Messung der Produktionskosten ist meist zweifelsfrei möglich. Deutlich schwerer beschreibbar ist in aller Regel der Einfluss der Produktion auf die Maximierung der Erlöse, da diese nur mittelbar über den Zusammenhang zwischen Umsatz und Lieferfähigkeit existiert. In dieser Arbeit wird deswegen die Lieferfähigkeit anhand der Verspätung der Belieferung von Kundenaufträgen direkt gemessen und als zweites Zielkriterium neben den Produktionskosten verwendet.<sup>14</sup>

Die Produktionsplanung umfasst eine Vielzahl von zu treffenden Entscheidungen, die von der Festlegung der Wertschöpfungsumfänge über die Dimensionierung der Produktionsinfrastruktur bis hin zur Terminierung und Freigabe einzelner Produktions-

<sup>13</sup>Siehe Lambert und Burduroglu (2000).

<sup>14</sup>In der Literatur wird die Verspätung zum Teil durch Fehlmengenkosten monetär bewertet und in die Produktionskosten integriert (Stadtler, 1988, Seite 43). Die Höhe der Fehlmengenkosten ist jedoch im Allgemeinen schwer zu quantifizieren (Stadtler, 1988, Seite 45), weswegen in dieser Arbeit davon abgesehen wird.





aufträge reichen. Diese werden entsprechend ihrer relevanten Planungshorizonte und Realisierungszeiträume, ihrer Bedeutung für die Gesamtunternehmung, ihres Aggregationsgrads sowie der Zuordnung zu unterschiedlichen Ebenen der Unternehmenshierarchie in strategische, taktische und operative Planungsaufgaben differenziert:<sup>15</sup>

- In der *strategischen* Produktionsplanung werden Entscheidungen getroffen, die zum langfristigen Erfolg einer Unternehmung beitragen. Diese umfassen beispielsweise Entscheidungen über Produktprogramm, Produktionsstandorte, -verfahren und -faktoren, aber auch die Wahl der Planungskonzepte der untergeordneten Planungsebenen. Ihr Entscheidungshorizont umfasst in der Regel mehrere Jahre.<sup>16</sup>
- Die *taktische* Produktionsplanung umfasst insbesondere die mittelfristige Anpassung der Produktionsinfrastruktur. Dazu zählen beispielsweise Entscheidungen über die Beschaffung zusätzlicher Produktionsressourcen oder die Festlegung der Fertigungstiefe, welche meist über einen Zeitraum von wenigen Jahren wirken.<sup>17</sup>
- Zur *operativen* Produktionsplanung zählen Maßnahmen zur Ausnutzung der existierenden Produktionspotentiale wie die kurzfristige Produktionsprogrammplanung oder die Planung der Durchführung der Produktionsaufträge. Der Entscheidungshorizont der operativen Produktionsplanung umfasst typischerweise mehrere Monate.<sup>18</sup>

Die strategische und die taktische Produktionsplanung geben der operativen Produktionsplanung und -steuerung (PPS) das Produktprogramm sowie die verfügbaren Produktionspotentiale vor. Die durch die Produktion zu bedienenden Absatzmengen und Absatzprognosen werden in dieser Arbeit als vertrieblich vorgegeben betrachtet, was der Realität in vielen Unternehmen entspricht.<sup>19</sup> Ziel der operativen PPS ist die rechtzeitige Befriedigung der gegebenen Nachfrage mit den vorhandenen Produktionspotentialen zu minimalen (beeinflussbaren) Kosten. Da die Entscheidung über die Produktionspotentiale bereits auf der strategischen bzw. taktischen Planungsebene getroffen wird, ist das Anlagevermögen einer Produktion durch die operative Produktionsplanung nicht mehr direkt beeinflussbar, die maßgeblichen Kosten setzen sich

<sup>15</sup>Entsprechend Drexl, Fleischmann, Günther, Stadtler und Tempelmeier (1994, Seite 1022), Günther und Tempelmeier (2012, Seite 25 f.) und Domschke und Scholl (2003, Seite 109); Fleischmann, Meyr und Wagner (2008, Seite 82) ordnen die taktische Planungsebene der operativen Planung zu.

<sup>16</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 27), Domschke und Scholl (2003, Seite 109), Stadtler (2008, Seite 194).

<sup>17</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 27), Domschke und Scholl (2003, Seite 109f).

<sup>18</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 27), Domschke und Scholl (2003, Seite 110), Stadtler (2008, Seite 194).

<sup>19</sup>Wenn die Absätze maßgeblich durch die vorhandenen Produktionskapazitäten begrenzt werden, kann es bisweilen notwendig sein, den Absatz im Rahmen der Produktionsplanung festzulegen, siehe beispielsweise Stadtler (2008, Seite 194) oder Domschke und Scholl (2003, Seite 116).

deswegen nur aus Betriebsaufwand und den aus dem Umlaufvermögen resultierenden Kosten zusammen.

Im Rahmen der operativen PPS müssen in der Regel die folgenden Probleme gelöst werden:<sup>20</sup>

- (1) *Die Produktionsmengen für Endprodukte müssen festgelegt werden.* Sie müssen so gewählt werden, dass sie die Deckung der Absatzmengen ermöglichen und mit den gegebenen Produktionsressourcen herstellbar sind. Da die Absatzmengen der Endprodukte unter Umständen – beispielsweise aufgrund saisonalen Kaufverhaltens der Kunden – stark schwanken, ermöglichen die beschränkten Kapazitäten der Produktionsressourcen keine vollständig bedarfssynchrone Produktion. Gegebenenfalls muss über die Emanzipation der Produktion von den Absatzmengen entschieden werden.
- (2) *Die aufzulegenden Lose (Produktionsaufträge) für End- und Vorprodukte müssen festgelegt werden.* Häufig erfolgt die Produktion eines Endprodukts in einem mehrstufigen Prozess, in dem Vorprodukte mehrfach bearbeitet und miteinander kombiniert werden. Um die Verfügbarkeit der Vorprodukte zur Produktion der Endprodukte sicherzustellen, müssen die zu produzierenden Lose für Vorprodukte und Endprodukte unter Berücksichtigung vorhandener Kapazitäten aufeinander abgestimmt werden.
- (3) *Die Reihenfolge, in der die Produktionsaufträge auf den Produktionsressourcen bearbeitet werden, ist festzulegen und gegebenenfalls an veränderte Bedingungen anzupassen.* Produktionsaufträge können oft auf mehreren Produktionsressourcen bearbeitet werden, die dafür unterschiedliche Kosten verursachen und unterschiedlich lange benötigen. Um insgesamt möglichst wenig Kosten zu verursachen und die Produktion möglichst aller Produktionsaufträge möglichst rechtzeitig abschließen zu können, ist eine Planung der Zuweisung von Produktionsaufträgen zu Produktionsressourcen notwendig.

Die Lösungen dieser Teilaufgaben können nicht unabhängig voneinander bestimmt werden, da zwischen den Teilaufgaben starke Interdependenzen existieren. Beispielsweise hängt die Kapazitätsbelastung, die durch die Produktion der Endprodukte entsteht und deren Kenntnis für die Lösung von Teilaufgabe (1) erforderlich ist, von den dafür benötigten Produktionsaufträgen für Vorprodukte einschließlich deren Bearbeitungsreihenfolgen ab. Beide sind jedoch Ergebnis der Teilaufgaben (2) und (3). Deswegen ist eine simultane Betrachtung dieser Aufgaben erstrebenswert.<sup>21</sup> Aus den folgenden Gründen haben sich Ansätze zur *Simultanplanung* dennoch nicht durchgesetzt:

- In praktisch relevanten Problemstellungen sind die Mengen der Entscheidungsoptionen, der Planungsrestriktionen sowie der Produktionsfaktoren so groß, dass

<sup>20</sup>Siehe Fleischmann u. a. (2008, Seite 89ff).

<sup>21</sup>Siehe u.a. Kistner und Steven (2001, Seite 191ff), Stadtler (1988, Seite 21ff).



selbst mit leistungsfähigster Soft- und Hardware keine Lösung in der dafür zur Verfügung stehenden Zeit möglich ist.<sup>22</sup>

- Planungsmodelle bilden die Realität stets vereinfacht ab.<sup>23</sup> Dies hat zur Folge, dass die ermittelten Ergebnisse der Realität unter Umständen nicht vollständig gerecht werden. In der betrieblichen Praxis muss deshalb sichergestellt werden, dass jeder betroffene Entscheider die Möglichkeit hat, innerhalb seines Verantwortungsbereichs die Folgen dieser Vereinfachung durch manuelles Eingreifen zu korrigieren. Dies ist bei einer simultanen Planung nicht möglich.<sup>24</sup>
- Die genannten Teilaufgaben der operativen PPS betreffen Entscheidungen für unterschiedliche Planungszeiträume und Detaillierungsgrade, die entsprechende Anforderungen an die Granularität und Fristigkeit der Eingangsgrößen stellen. Die Eingangsgrößen sind in der Regel das Ergebnis anderer Planungsentscheidungen (beispielsweise der strategischen oder taktischen Produktionsplanung oder des Vertriebs) oder müssen durch Prognosen ermittelt werden. Somit liegen sie üblicherweise nur für einen beschränkten Zeitraum in der für die Planung erforderlichen Qualität vor. Dieser Zeitraum reicht oft nicht aus, um alle Teilaufgaben zufriedenstellend lösen zu können.<sup>25</sup>

Aus den genannten Gründen haben sich in Wissenschaft und Praxis *hierarchische Planungsansätze* durchgesetzt.

## 2.2. Konzepte zur hierarchischen Produktionsplanung und -steuerung

In der hierarchischen Planung wird ein Gesamtplanungsproblem in hierarchisch voneinander abhängige Teilprobleme aufgeteilt.<sup>26</sup>

Problematisch daran ist allerdings, dass durch die Dekomposition des Gesamtproblems in Teilprobleme in der Regel Abhängigkeiten zwischen den Teilproblemen unberücksichtigt bleiben. Folglich ist nicht damit zu rechnen, dass ein hierarchisches Planungskonzept zu im Sinne des Gesamtproblems optimalen Lösungen führt.<sup>27</sup> Die Güte der Planungsergebnisse eines hierarchischen Planungskonzepts ist daher maßgeblich abhängig von der Modellierung der jeweils einzelnen Planungsprobleme sowie deren problemübergreifender Koordination. Deswegen wurden in der Vergangenheit einige hierarchische Planungskonzepte entwickelt, von denen einige zentrale im Folgenden dargestellt sind.

<sup>22</sup>Siehe u.a. Hax und Meal (1975, Seite 3), Fleischmann u. a. (2008, Seite 83).

<sup>23</sup>Siehe Domschke und Drexl (2005, Seite 3).

<sup>24</sup>Siehe u.a. Hax und Meal (1975, Seite 3), Stadtler (1988, Seite 25), Kistner und Steven (2001, Seite 207f).

<sup>25</sup>Siehe u.a. Hax und Meal (1975, Seite 3f), Stadtler (1988, Seite 24), Kistner und Switalski (1989, Seite 200), Kistner und Steven (2001, Seite 207).

<sup>26</sup>Siehe Schneeweiß (1994, Seite 161).

<sup>27</sup>Siehe Herrmann (2011, Seite 196).

**Einführung der hierarchischen Produktionsplanung durch Hax und Meal**  
Hax und Meal (1975) schlagen zur Produktionsplanung ein vierstufiges Planungskonzept vor: Einzelne Produkte werden aufgrund unterschiedlicher Gesichtspunkte zu Produktfamilien und Produkttypen aggregiert. Auf der höchsten Planungsebene werden Produkte bzw. Produktfamilien einzelnen Fabriken zugewiesen. Je Fabrik wird anschließend ein Produktionsprogramm auf Produkttypenebene erstellt, um saisonale Belastungsspitzen auszugleichen. Die Reihenfolge der Produktion von Produktfamilien und – untergeordnet – die Reihenfolge der Bearbeitung der Produkte wird auf den untersten beiden Planungsebenen festgelegt.

**Entwicklung von Sukzessivplanungskonzepten** Bei diesem Konzept handelt es sich um eines der ersten sogenannten *Sukzessivplanungskonzepte*. Dieser Begriff trägt der Tatsache Rechnung, dass es sich zwar um mehrere hierarchisch voneinander abhängige Planungsebenen handelt, jedoch auf der jeweils übergeordneten Planungsebene keine Antizipation des Verhaltens der jeweils untergeordneten Planungsebenen und der Umsetzung der Planungsergebnisse erfolgt.<sup>28</sup>

Bis heute sind *Sukzessivplanungskonzepte* zur operativen PPS in der Praxis weit verbreitet (siehe Abbildung 2.3).<sup>29</sup> Ein solches Planungskonzept umfasst typischerweise eine Hauptproduktionsprogrammplanung, eine Mengen- oder Bedarfsplanung, eine Terminplanung und eine Produktionssteuerung.<sup>30</sup> Die einzelnen Planungen übernehmen folgende Aufgaben:

1. **Hauptproduktionsprogrammplanung:** In der Hauptproduktionsprogrammplanung werden die Produktionsmengen für Endprodukte über einen kurz- bis mittelfristigen Planungszeitraum ermittelt.<sup>31</sup> Eine Berücksichtigung von Produktionskapazitäten und damit eine bei knappen Kapazitäten notwendige Emanzipation des Produktionsprogramms von der geplanten Nachfrage erfolgt in der Regel nicht, sodass im Kern ein Gleichsetzen der Produktions- und Absatzmengen erfolgt.<sup>32</sup>
2. **Mengen- bzw. Bedarfsplanung:** In der Mengen- bzw. Bedarfsplanung werden grobterminierte Produktionsaufträge für Endprodukte und deren Komponenten ermittelt. Die Ermittlung der Produktionsaufträge kann programmorientiert oder verbrauchsgesteuert erfolgen. In der programmorientierten Disposition werden auf der Basis der Erzeugnisstruktur, geschätzter Durchlaufzeiten der Produkte durch die Produktion und gegebenenfalls weiterer Parameter Produktionsaufträge berechnet; einen Algorithmus hierzu formuliert beispielsweise Herrmann.<sup>33</sup> Die verbrauchsorientierte Disposition stellt im Kern eine Vereinfachung

<sup>28</sup>Siehe Schneeweiß (1994, Seite 165).

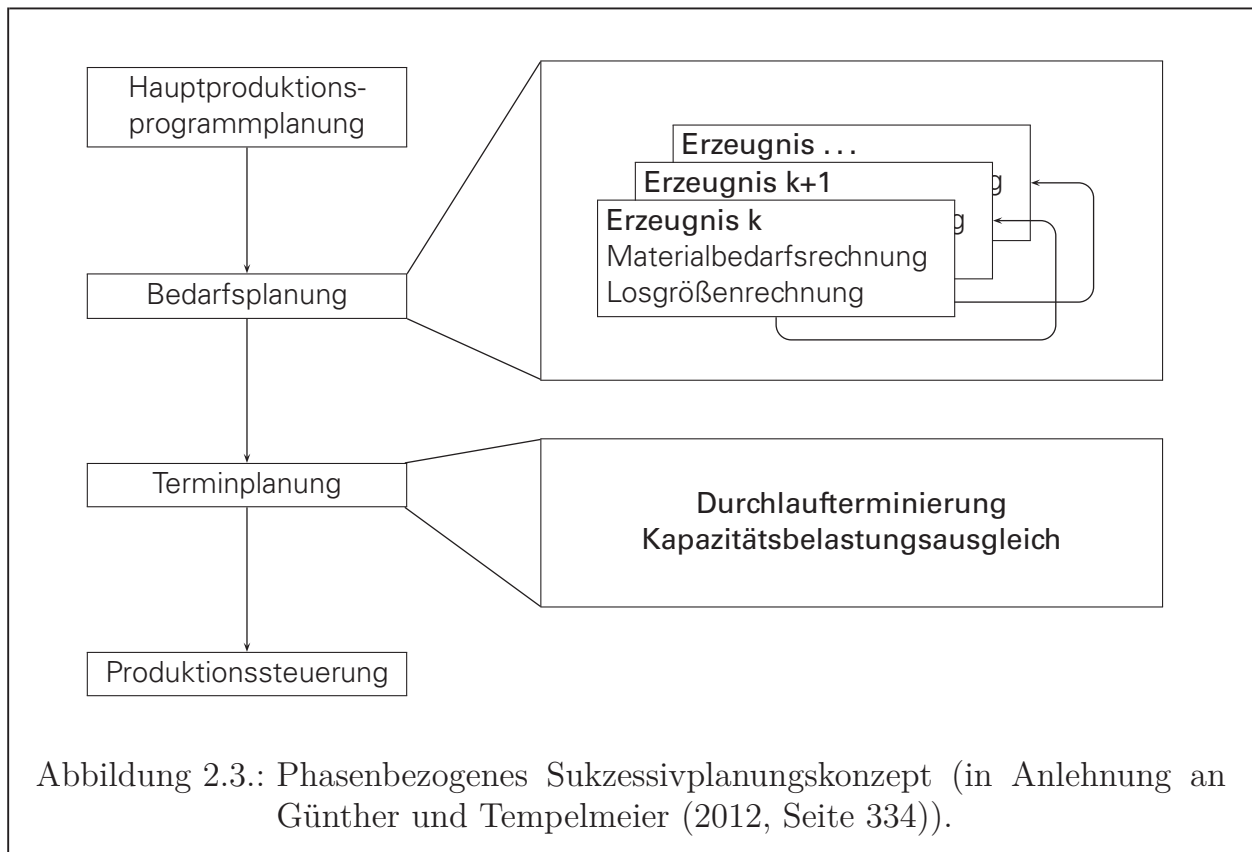
<sup>29</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 199).

<sup>30</sup>Siehe Drexl u. a. (1994, Seite 1023f), Kistner und Steven (2001, Seite 256f).

<sup>31</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 334).

<sup>32</sup>Siehe Drexl u. a. (1994, Seite 1025).

<sup>33</sup>Siehe Herrmann (2011, Seite 245).



chung dieses Verfahrens mit dem Ziel der Reduktion des Aufwandes für Planung und Datenermittlung dar.<sup>34</sup>

Da – wie in Abbildung 2.3 angedeutet – eine erzeugnisweise Planung stattfindet, ist die Berücksichtigung von Produktionskapazitäten in der Regel nicht möglich; dies stellt eine zentrale Schwäche dieses Ansatzes dar.

- 3. Terminplanung:** Aufgrund der fehlenden Berücksichtigung von Kapazitäten sind die durch die Bedarfsplanung ermittelten Produktionsaufträge oft kapazitativ nicht wie geplant durchführbar. In der Terminplanung wird deshalb versucht, die Produktionsaufträge so zu verschieben, dass Kapazitätsüberschreitungen reduziert bzw. vermieden werden können. In der Regel geschieht dies manuell.<sup>35</sup>
- 4. Produktionssteuerung:** In der Produktionssteuerung erfolgt – üblicherweise durch Prioritätsregeln – die Entscheidung über die Zuordnung einzelner Arbeitsgänge (Operationen) zu Produktionsressourcen.<sup>36</sup>

Die auf allen Planungsebenen fehlende oder unzureichende planerische Berücksichtigung von Produktionskapazitäten führt zu durchweg mangelhaften Planungsergeb-

<sup>34</sup>Siehe Herrmann (2011, Seite 251).

<sup>35</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 335f).

<sup>36</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 335), Herrmann (2011, Seite 309ff).



nissen. Als Konsequenz entstehen oft hohe Lagerbestände, lange Durchlaufzeiten oder hohe Verspätungen.<sup>37</sup>

**Entwicklung antizipierender, im engeren Sinne hierarchischer Planungskonzepte** Diese Mängel werden durch sogenannte hierarchische Planungskonzepte vermieden. Ein hierarchisches Planungskonzept im engeren Sinne gemäß Schneeweiß zeichnet sich dadurch aus, dass die darin enthaltenen hierarchisch übergeordneten Planungsebenen die Entscheidungen der jeweils untergeordneten Planungsebenen antizipieren.<sup>38</sup> Beispielsweise müssten in einer hierarchischen Version des eingeführten Sukzessivplanungskonzeptes bereits in der Hauptproduktionsprogrammplanung die Entscheidungen der Bedarfsplanung über die Bildung von Produktionslosen sowie die daraus resultierenden Kapazitätsbelastungen antizipiert werden. Geschähe dies ausreichend gut, dann könnte jedes Produktionsprogramm ohne Kapazitätsengpässe in Bedarfspläne umgesetzt werden.

In den vergangenen Jahrzehnten wurde eine Reihe solcher hierarchischer Konzepte zur hierarchischen Produktionsplanung und -steuerung entwickelt.<sup>39</sup> Drexl, Fleischmann, Günther, Stadtler und Tempelmeier entwickelten ein hierarchisches Planungskonzept zur kapazitätsorientierten Produktionsplanung,<sup>40</sup> welches die konzeptionelle Grundlage dieser Arbeit darstellt. In diesem Konzept wird das Produktionssystem in miteinander vernetzte Produktionssegmente gegliedert. Jedes Produktionssegment besitzt eine spezifische Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung und eine Feinplanung, die auf das dort vorherrschende Organisationsprinzip abgestimmt ist.<sup>41</sup> Die segmentübergreifende Koordination der Produktion der Endprodukte, beispielsweise auf Werksebene, erfolgt durch eine kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung.<sup>42</sup> Die aggregierte Gesamtplanung plant auf einem im Vergleich zu den übrigen Planungsebenen vergleichsweise hohen Aggregationsgrad sämtliche Produktionsstätten und Endprodukte (bzw. Produkttypen) der Unternehmung.<sup>43</sup> Dieses Planungskonzept ist in Abbildung 2.4 dargestellt.

## 2.3. Hauptproduktionsprogrammplanung

Die Hauptproduktionsprogrammplanung dient vorrangig der „Abstimmung der Produktionsprogramme mit der vorhandenen Kapazität“<sup>44</sup>. Das dieser Arbeit zugrunde gelegte konkrete Optimierungsmodell **HPPLAN** zur **Hauptproduktionsprogrammplanung** haben Günther und Tempelmeier entwickelt.<sup>45</sup>

<sup>37</sup>Siehe Drexl u. a. (1994, Seite 1026).

<sup>38</sup>Siehe Schneeweiß (1994, Seite 165).

<sup>39</sup>Siehe Stadtler (1988, Seite 36ff).

<sup>40</sup>Siehe Drexl, Fleischmann, Günther, Stadtler und Tempelmeier (1994).

<sup>41</sup>Siehe Drexl u. a. (1994, 1034f).

<sup>42</sup>Siehe Drexl u. a. (1994, Seite 1032).

<sup>43</sup>Siehe Drexl u. a. (1994, Seite 1031).

<sup>44</sup>Drexl u. a. (1994, Seite 1032).

<sup>45</sup>Siehe Günther und Tempelmeier (2012, Seite 175).

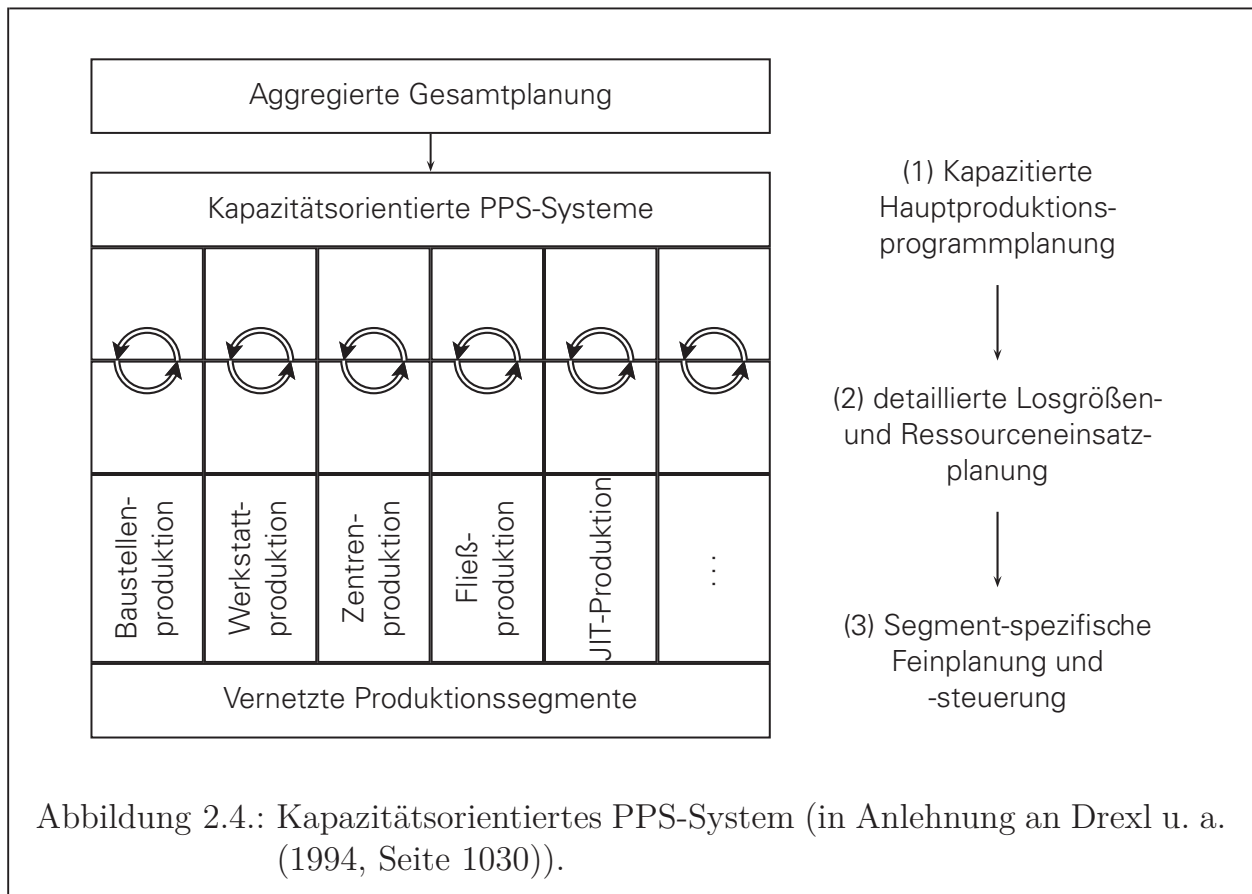


Abbildung 2.4.: Kapazitätsorientiertes PPS-System (in Anlehnung an Drexel u. a. (1994, Seite 1030)).

Im Rahmen der Produktionsprogrammplanung werden die Produktionsmengen für Endprodukte und die Verwendung von Zusatzkapazitäten in den einzelnen Produktionssegmenten für einen kurz- bis mittelfristigen Zeitraum festgelegt. Dabei müssen folgende Restriktionen berücksichtigt werden:

Es existieren  $K$  Endprodukte (indiziert mit  $k$ , es gilt  $1 \leq k \leq K$ ). Diese werden in  $J$  Produktionssegmenten (indiziert mit  $j$ , es gilt  $1 \leq j \leq J$ ) produziert. Im Rahmen einer Planung wird ein Planungszeitraum mit einer Länge von  $T$  Perioden (mit den Perioden  $t$ , es gilt  $1 \leq t \leq T$ ) betrachtet; zu entscheiden ist über die Produktionsmengen  $x_{k,t}$  je Endprodukt und Periode und die daraus resultierenden Lagerbestände  $I_{k,t}$  sowie über die zur Produktion benötigten Zusatzkapazitäten  $U_{j,t}$ .

Die Länge des Planungszeitraums  $T$  wird nach unten begrenzt durch die Notwendigkeit, Bedarfsspitzen und daraus resultierende Spitzen der Kapazitätsbelastung durch Vorproduktion abfangen zu können. Der Planungszeitraum muss mindestens so lange sein, dass in solchen Fällen eine rechtzeitige Vorproduktion noch möglich ist; die Länge dieses Zeitraums hängt ab von der zu erwartenden Höhe der Belastungsspitzen und der Fähigkeit (und Wirtschaftlichkeit), diese Spitzen durch die Verwendung von Zusatzkapazität auszugleichen. Nach oben wird die Länge des Planungszeitraums begrenzt durch die Datenverfügbarkeit: In der Regel wird die Verlässlichkeit und Genauigkeit der prognostizierten Problemparameter umso schlechter, je weiter diese

in die Zukunft reichen. Deswegen existiert meist ein Zeitpunkt, ab dem eine weitere Vergrößerung des Planungszeitraums keinen Zugewinn an Planungsqualität mehr bringt. Außerdem führt der verlängerte Planungshorizont zu höherem Aufwand für die Prognose der Problemparameter sowie zu einer schlechteren Lösbarkeit des Planungsproblems. Daraus resultieren in aller Regel höhere Planungskosten. Innerhalb dieser (anwendungsspezifischen) Grenzen ist der Planungszeitraum festzulegen. In der Literatur wird üblicherweise ein Zeitraum von mehreren Monaten als geeignet angesehen: Drexl u. a. nennen einen Zeitraum von drei bis zwölf Monaten, Fleischmann u. a. von weniger als einem Jahr.<sup>46</sup>

Bei der Wahl des Aggregationsgrads der Hauptproduktionsprogrammplanung sind die wesentlichen Einflussfaktoren die Verfügbarkeit der benötigten Daten sowie der Aggregationsabstand zur Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung: In der unternehmerischen Praxis ist es in der Regel nicht möglich, über einen Zeitraum von mehreren Monaten sinnvolle Parameterprognosen auf Tagesebene abzugeben. Deswegen werden größere Perioden gewählt, für welche sinnvolle Parameterprognosen über den gesamten Planungszeitraum möglich sind. Die Verwendung größerer Planungsperioden führt jedoch andererseits dazu, dass der Aggregationsabstand zwischen Hauptproduktionsprogrammplanung und Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung steigt. Je größer dieser Abstand ist, desto eher kann das Produktionsprogramm nicht in einen zulässigen Detailplan umgesetzt werden, da die Antizipation untergeordneter Restriktionen durch die hohe Aggregation der Hauptproduktionsprogrammplanung an Präzision verliert.

Die Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung erfolgt typischerweise auf Tages- oder Schichtebene.<sup>47</sup> Für die Hauptproduktionsprogrammplanung haben sich in der Praxis etwas größere Perioden, beispielsweise Wochen- oder Monatsperioden, als in der Regel gut geeignet herausgestellt.<sup>48</sup>

Mit den im Rahmen der Hauptproduktionsprogrammplanung ermittelten Produktionsmengen werden die Bedarfe  $d_{k,t}$  gedeckt. Diese Bedarfe stellen die zum Planungszeitpunkt vorhandenen Informationen im Planungszeitraum dar. Sofern bereits Kundenaufträge vorliegen, werden diese direkt verwendet; fehlende Werte werden mittels einer Prognose ergänzt.

Die Abstimmung des Hauptproduktionsprogramms mit den vorhandenen Produktionskapazitäten erfolgt durch das Abschätzen von Kapazitätsangebot und -nachfrage. Das Kapazitätsangebot, jedoch insbesondere die Kapazitätsnachfrage sind Ergebnisse der untergeordneten Planungsebenen und stellen deshalb eine approximative Antizipation im Sinne von Schneeweiß<sup>49</sup> dar.

Das Kapazitätsangebot setzt sich zusammen aus Normal- und Zusatzkapazität. Die Normalkapazität wird je Produktionssegment und Planungsperiode durch  $b_{j,t}$  angegeben. Gegebenenfalls kann eine Zusatzkapazität unter Inkaufnahme von Zusatzkosten

<sup>46</sup>Siehe Fleischmann u. a. (2008, Seite 89).

<sup>47</sup>Siehe Drexl u. a. (1994, Seite 1034).

<sup>48</sup>Siehe Drexl u. a. (1994, Seite 1033), Günther und Tempelmeier (2012, Seite 170) und Fleischmann u. a. (2008, Seite 89).

<sup>49</sup>Siehe Schneeweiß (1994, Seite 165).