



Katharina Amann (Autor)  
**Einsatz des Kalman Filters in der operativen  
Produktionsplanung**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6300>

Copyright:  
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-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

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Neben dem Preis, der Qualität und der Funktionalität eines Produkts spielt in der Industrie auch das Erreichen eines hohen Servicegrades eine wesentliche Rolle. Immer kürzer werdende Produktlebenszyklen verlangen von den Unternehmen eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit und mehr Flexibilität. In Verbindung mit Bedarfsschwankungen, verkürzten Lieferfristen oder der allgemeinen Konjunkturentwicklung müssen viele Unternehmen ihre Produktionsplanung an die sich verändernden Rahmenbedingungen angleichen. Die Produktion und die daran beteiligten Prozesse werden unternehmensspezifisch angepasst. Dabei spielt nicht zuletzt die Branchenzugehörigkeit eine entscheidende Rolle.

In Straube et al. (2005, S. 9) wird im Zusammenhang mit der Darstellung von Trends und Strategien in der Logistik herausgestellt, dass die zunehmende Marktdynamik und die damit verbundene unsichere Nachfrage Prognosemethoden und -instrumenten in der Produktionsplanung eine höhere Bedeutung zukommen lässt. Unter einer Prognose wird dabei eine aus Informationen von Vergangenheit und Gegenwart basierende Aussage über zukünftige Kundennachfragen verstanden (Khosrawi-Rad, 1991, S. 8). Darüber hinaus wird in der Trendstudie darauf hingewiesen, dass die befragten Unternehmen aus Industrie und Handel die Dynamisierung der Märkte wahrnehmen, die mögliche Gegenmaßnahme einer Bestandserhöhung aber weitestgehend ablehnen (Straube et al., 2005, S. 16). Trotz der daraus resultierenden Fokussierung auf Schätzverfahren weisen viele Unternehmen im Bereich der Prognose Defizite auf, die sich letztendlich auch in den Unternehmenserfolgen widerspiegeln. In der Industrie sind vor allem statistische Prognosemethoden weit verbreitet, die unter der Annahme der jeweiligen Nachfrageverläufe zur Bedarfsprognose herangezogen werden. Wird in einem Unternehmen davon ausgegangen, dass die Nachfrage einen trendartigen Verlauf aufweist, wird auf ein anderes Verfahren zurückgegriffen als unter der Annahme einer saisonalen Nachfrage. Saisonalität kann dabei auf klimatische, politische oder soziale Ursachen zurückgeführt werden (vgl. u.a. Slack et al., 2004, S. 364). Problematisch in Bezug auf die Prognosegüte können aber beispielsweise Veränderungen im grundsätzlichen Verlauf der Nachfrage oder Strukturbrüche sein. Weiterhin können geeignete Prognosen mittels statistischer Verfahren auch bei Neuprodukteinführungen eine Herausforderung darstellen, da nicht zuletzt keine ausreichende Datengrundlage vorhanden ist.

Bei der Betrachtung der Gründe für Out-of-Stock-Situationen im Handel, bei denen 72 % der befragten Unternehmen mangelnde Prognostizierbarkeit der Nachfrage und 57 % Nachfrageschwankungen hervorgerufen durch Werbeaktionen aufführen, zeigt sich, dass die Wahl eines geeigneten Prognoseverfahrens eine entscheidende Rolle spielt (Straube



et al., 2005, S. 91ff). Die Einbindung von Werbeaktionen oder weiteren äußeren Einflüssen in die bekannten statistischen Prognosemethoden ist dabei nur schwer möglich. In der Industrie basieren Ansätze der Produktionslogistik zudem meist auf Erwartungswerten bzw. empirischen Heuristiken. Die immer höher werdende Komplexität moderner Produktionsprozesse führt allerdings dazu, dass ermittelte Lösungen hinsichtlich der Produktionsmenge nicht mehr kostenoptimal sind oder der Gewinnmaximierung unterliegen. Im Rahmen der Produktionsplanung zählen dabei u.a. die Verfügbarkeit zukünftiger Lieferungen, Preise für Rohstoffe oder Produkte sowie der Kundenbedarf zu den unsicheren Faktoren (vgl. Li, 2007).

Eine Übertragung von Prognosemethoden aus anderen Bereichen wie z.B. der Meteorologie oder der künstlichen Intelligenz in die operative Produktionsplanung von Industrieunternehmen ist daher eine logische Konsequenz. Grundsätzlich beschäftigt sich die operative Produktionsplanung dabei mit der zeitlichen, mengenmäßigen und räumlichen Planung der Produktion auf Wochen-, Tage- oder Stundenbasis (vgl. u.a. Domschke et al., 1997, S. 15).

## 1.2 Zielsetzung und Lösungsweg

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erarbeitung und Beurteilung eines Ansatzes zur Berechnung der periodenspezifischen Produktionsmenge eines Industrieunternehmens unter Berücksichtigung von Nachfrageunsicherheiten auf Basis der durch den diskreten Kalman Filter prognostizierten Nachfragemenge. Dabei wird eine erstmalige Überprüfung der Vor- und Nachteile des diskreten Kalman Filters zur Nachfrageprognose im Kontext der operativen Produktionsplanung mithilfe eines umfassenden Vergleichs durchgeführt. Eine ergänzende Untersuchung von aus den Prognoseergebnissen resultierenden Lagerbestandsverläufen basiert auf der Prämisse der Minimierung des Lagerbestands unter der Vorgabe eines zu erreichenden Servicelevels.

Grundsätzlich wird der Kalman Filter für die Zustandsschätzung eines dynamischen Systems oder für die Performanceanalyse eines Schätzsystems verwendet. In seiner Vorgehensweise folgt der Filter dabei dem Prinzip der Datenassimilation: Mit Hilfe eines Korrekturschrittes werden die durch ein Modell berechneten Schätzwerte möglichst geeignet verbessert, um den letztendlich unbekanntem Systemzustand vorherzusagen. Diese sogenannte Analyse enthält dabei eine Bewertung der Unsicherheiten sowie des Rauschens der Modellergebnisse und eine Abschätzung des Beobachtungsfehlers. Sobald eine Beobachtung des Systems vorliegt, wird die Modellvorhersage an einen Wert angepasst, der näher an der tatsächlichen Beobachtung liegt. Ausgehend von diesem Punkt wird dann eine Vorhersage für den nächsten Schätzwert gestartet. Durch den Einsatz des Kalman Filters können demnach verschiedene Zeitreihenkomponenten, mögliche Nachfragemuster oder andere externe Einflüsse wie Rabattaktionen in die Prognose eingebracht werden.

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit orientiert sich an den bereits beschriebenen, inhaltlichen Schwerpunkten. In Kapitel 2 werden zunächst unternehmensbezogene Risiken be-

stimmt und eine faktorabhängige Definition des Unsicherheitsbegriffs aus dem Bereich des Operations Research eingeführt. Darauf aufbauend werden Unsicherheiten im Kontext der Produktionsplanung kategorisiert und insbesondere der Bereich der Nachfrageunsicherheiten hervorgehoben. Ergänzend findet eine Abgrenzung der operativen von der strategischen und taktischen Produktionsplanung statt. Durch die Betrachtung der Auswirkungen von Nachfrageunsicherheiten auf die operative Produktionsplanung werden beide Themenbereiche inhaltlich miteinander verknüpft.

Kapitel 3 beinhaltet die Basis des später durchgeführten Prognosewettbewerbs. Zur Schätzung von Kundennachfragen, die in der vorliegenden Arbeit durch Zeitreihen abgebildet werden, verwenden Industrieunternehmen zumeist quantitative Methoden. Für den Vergleich mit den Schätzwerten des diskreten Kalman Filters werden etablierte Prognoseverfahren herangezogen und ausführlich beschrieben. Eine Kategorisierung der Verfahren findet anhand von Zeitreihenkomponenten statt, für deren Schätzung sich die jeweilige Methode am besten eignet. Das Kapitel enthält zudem ausgewählte Kriterien zur Beurteilung der Prognosequalität eines Schätzverfahrens.

Eine Einordnung des Kalman Filters in das Grundprinzip der Datenassimilation sowie eine formale, mathematische Beschreibung des Filters liefert Kapitel 4. Dabei findet vor allem eine Fokussierung auf die Komponenten statt, die als wichtige Einflussparameter für die Schätzung von Kundennachfragen mit dem diskreten Kalman Filter identifiziert werden. Ergänzend zur Einführung des diskreten Kalman Filters werden der Erweiterte Kalman Filter sowie der Ensemble Kalman Filter vorgestellt, die als mögliche Erweiterung des erarbeiteten Ansatzes dienen können.

Kapitel 5 stellt den diskreten Kalman Filter als Prognosetool in der operativen Produktionsplanung in den Fokus. Zunächst wird die grundsätzliche Eignung des Filters zur Schätzung von Kundennachfragen anhand eines ausführlichen Literaturüberblicks diskutiert. Darauf aufbauend werden die Rahmenbedingungen des Prognosewettbewerbs sowie der daran angeschlossenen Lagerbestandssimulation über die Betrachtung der Problemstellung festgelegt und ein entsprechendes Schätz- und Lagersystem definiert. Weiterhin wird die Vorgehensweise für die Generierung der benötigten Nachfrageszenarien vorgestellt, die den verschiedenen Zeitreihenkomponenten zugeordnet werden können.

In Verbindung mit der Lagerbestandssimulation zählt der anwendungsbezogene Vergleich ausgewählter Prognosemethoden aus Kapitel 6 zu den Schwerpunkten der vorliegenden Arbeit. Für konstante Zeitreihen wird dabei auf den Vergleich mit der exponentiellen Glättung 1. Ordnung, für trendartige Zeitreihen auf die Verfahren von Brown und Holt zurückgegriffen. Saisonale Nachfragen werden durch das Verfahren von Holt-Winters geschätzt, während sporadische Nachfrageverläufe über das Verfahren von Croston prognostiziert werden. Für die Schätzung von Zeitreihen ohne vorgegebenes Datenmuster werden ARIMA-Verfahren herangezogen. Die Untersuchung von Zeitreihen mit systematischen Abweichungen, die beispielsweise aus Werbemaßnahmen resultieren können, basiert auf dem Vergleich aller aufgeführten Verfahren mit dem diskreten Kalman Filter. Die Prognosegenauigkeit jedes Verfahrens bezüglich der betrachteten Zeitreihen wird anhand der



Fehlermaße der mittleren absoluten Abweichung, der mittleren prozentualen Abweichung sowie dem mittleren quadratischen Fehler beurteilt. Folglich können Empfehlungen hinsichtlich der Wahl eines Verfahrens oder der entsprechenden Verfahrensparameter abgeleitet werden.

In Kapitel 7 werden die Resultate der Lagerbestandssimulation aufgeführt. Auf Basis der Ergebnisse des Prognosewettbewerbs wird der Lagerbestandsverlauf der Parameterkombinationen eines Verfahrens ermittelt, die jeweils die geringste bzw. die höchste Prognosegenauigkeit nach sich ziehen. Um die Auswirkungen der Prognoseergebnisse auf die Lagerbestandshöhe und damit auch die Servicelevel zu beurteilen, wird die aktuelle Produktionsmenge innerhalb vorher festgelegter Grenzen direkt mit dem Schätzwert der nachfolgenden Periode gleichgesetzt. Zudem werden im dem vorher festzulegenden Lageranfangsbestand sowie in der minimal und maximal möglichen Produktionsmenge keine Sicherheitsbestände berücksichtigt. Somit können die Empfehlungen auf Basis der Prognosegenauigkeit um Aussagen hinsichtlich resultierender Lagerbestandshöhen oder Fehlmengen und damit verbundenen  $\alpha$ - und  $\beta$ -Serviceleveln ergänzt werden. Darüber hinaus kann die grundsätzliche Eignung des diskreten Kalman Filters als Prognosetool in der operativen Produktionsplanung beurteilt werden.

Abschließend beinhaltet Kapitel 8 einen Ausblick bezüglich möglicher Modellerweiterungen, Veränderungen des Prognosewettbewerbs oder Ergänzungen bei der Lagerbestandssimulation. Im Sinne einer „Enterprise-wide Optimization“ wird ein Einsatz des Kalman Filters in anderen Unternehmensbereichen diskutiert, um mögliche Synergieeffekte zu nutzen. Kapitel 9 fasst die Arbeit zusammen.

## 2 Unsicherheiten in der Produktionsplanung

Im Zusammenhang mit der Produktionsplanung und Teilaufgaben des Produktionsmanagements, wie dem Bestandsmanagement, sehen sich Industrieunternehmen mit vielen Entscheidungsproblemen konfrontiert, die auf der Grundlage von unsicheren Informationen zu bearbeiten sind. In der Literatur wird dabei zumeist die Unsicherheit in der Prognose zukünftiger Nachfragen als besonders wichtig identifiziert, da im Rahmen der operativen Produktionsplanung in einem Planungshorizont von 1-2 Wochen u.a. Entscheidungen über die zu fertigende Produktionsmenge getroffen werden (vgl. u.a. Tempelmeier, 2011, S. 11). Nicht zuletzt in Bezug auf Schwankungen in der Nachfrage werden geeignete Prognoseverfahren (vgl. Kapitel 3) eingesetzt, die entsprechende Informationen über zukünftige Entwicklungen hinreichend genau abschätzen und damit eine optimierte Bedarfsplanung erlauben sollen (vgl. u.a. Gebhard, 2009, S. 21; Herrmann, 2011, S. 19). Durch die Berücksichtigung von Nachfrageunsicherheiten können die Güte der Produktionsplanung verbessert und damit beispielsweise die vorgehaltenen Sicherheitsbestände und der Servicegrad auch bezüglich der gesamten betrachteten Supply Chain beeinflusst werden (Werners und Thorn, 2002). Darüber hinaus können große Abweichungen zwischen prognostizierter und tatsächlich auftretender Nachfrage aber auch zu einer großen Planungsnervosität führen, die über eine möglichst realistische Abbildung der Unsicherheiten vermieden werden kann. Unter Planungsnervosität wird dabei eine häufige Planänderung verstanden, die sowohl die Akzeptanz von Produktionsplänen einschränken als auch zu Schwierigkeiten im Produktionsablauf führen kann (Scholl, 2001a, S. 319f; Kurbel, 2005, S. 43). In der Literatur und im Rahmen verschiedener Softwaresysteme, wie Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme oder Enterprise Resource Planning-Systeme, wird die Verwendung ausgewählter Prognoseverfahren in der Bedarfsplanung auch unter dem Begriff „Demand Planning“ zusammengefasst (vgl. u.a. Alicke, 2005, S. 37ff; Tempelmeier, 2006, S. 31; Herrmann, 2009, S. 62; Herrmann, 2011, S. 19).

Die vorliegende Arbeit thematisiert die Betrachtung von Unsicherheiten in der operativen Produktionsplanung über ausgewählte Prognosetechniken zur Schätzung von Kundennachfragen. Für die Berücksichtigung der Nachfrageschwankungen sind daher im allgemeinen zwei grundsätzliche Fragestellungen zu klären: 1. Wie sollen die betrachteten Unsicherheiten im jeweiligen System abgebildet und eingebunden werden (Zimmermann, 2000; Inderfurth, 2005)? 2. Welche Maßnahmen führen zu einer Reduzierung der Unsicherheiten? Zum besseren Verständnis werden daher in den folgenden Abschnitten zunächst die Begriffe Unsicherheiten und Störungen im Kontext von Planung und Produktion definiert und klassifiziert (vgl. Abschnitt 2.1). Anschließend wird der Bereich der operativen Produktionsplanung von der strategischen und taktischen Produktionsplanung abgegrenzt (vgl. Abschnitt 2.2) und Grundlagen des Bestandsmanagements erläutert (vgl. Abschnitt



2.3). Darauf aufbauend werden die Bedeutung und Auswirkungen von Nachfrageunsicherheiten und damit verbundenen Nachfrageprognosen in der operativen Produktionsplanung dargestellt (vgl. Abschnitt 2.4).

## 2.1 Definition und Klassifizierung von Unsicherheiten

Eine angemessene Bestimmung und auch Modellierung von Unsicherheiten im Rahmen der Produktionsplanung ist von mehreren Faktoren abhängig (Zimmermann, 2000):

- Ursache bzw. Entstehungsgrund der Unsicherheit,
- Qualität und Quantität der verfügbaren Informationen,
- Art der Informationen, die für die Berechnung der Unsicherheit notwendig sind.

Auf Basis dieser Faktoren wird in Zimmermann (2000) im Kontext des Operations Research und im Hinblick auf Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik nachfolgende Definition für den Begriff der Unsicherheiten gewählt, die als Grundlage für die vorliegende Arbeit dient: Unsicherheit impliziert, dass eine Person in gewissen Situationen nicht über Informationen verfügt, die in quantitativer und qualitativer Hinsicht angemessen für die Beschreibung, Bestimmung oder Vorhersage eines deterministischen, numerischen Systems, dessen Verhalten oder Eigenschaften verwendet werden können. Für weitere Definitionen des Begriffs der Unsicherheit, der den Oberbegriff für die Ungewissheit sowie mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit belegbare Risiken darstellt, wird auf die entsprechende Literatur verwiesen (vgl. u.a. Galbraith, 1973, S. 15; Minner, 2000, S. 10f; Koh et al., 2002; Brindley, 2004, S. 7; Drogg, 2006, S. 26; Kummer und Sudy, 2010, S. 347).

Neben der Wahl einer geeigneten Definition stellt auch die Klassifizierung auftretender Unsicherheiten im Rahmen der Produktionsplanung eine wichtige Aufgabe dar. Eine Einordnung kann anhand des Ursprungs bzw. der Regelmäßigkeit von Störungen sowie der entstehenden Auswirkungen vorgenommen werden (Minner, 2000, S. 9). Hinsichtlich des Ursprungs kann eine grundlegende Unterscheidung in extern und intern bedingte Unsicherheiten stattfinden, wobei Nachfrageprozesse den externen Unsicherheiten zugeordnet werden und damit von Unternehmen nur schwer beeinflusst werden können. Eine Möglichkeit der Einflussnahme bieten geeignete Marketingmaßnahmen. Eingesetzte Planungssysteme oder Produktionsabläufe können dagegen beispielsweise zu den internen Unsicherheiten gezählt werden (Gebhard, 2009, S. 21f). Eine ähnliche Einteilung findet sich auch in Ho (1989), wo in Umwelt- und Systemunsicherheit unterschieden wird. Durch Störungen hervorgerufene Unsicherheiten können dabei mengenmäßige, qualitätsbezogene oder terminliche Auswirkungen haben (Jensen, 1996, S. 23; Koh et al., 2002; Inderfurth, 2005; Mula et al., 2006; Tempelmeier, 2010, S. 16).

In Wolke (2008, S. 201ff) werden Risiken in Industrieunternehmen zunächst nach leistungswirtschaftlichen und finanzwirtschaftlichen Gesichtspunkten unterschieden. Zu den in dieser Arbeit nicht betrachteten finanzwirtschaftlichen Risiken zählen demnach Marktpreis-, Ausfall- und Liquiditätsrisiken. Leistungswirtschaftliche Risiken, die bei der Erstellung und Verwertung von Gütern und Dienstleistungen entstehen, teilen sich in interne und



externe Betriebsrisiken sowie Supply Chain Risiken auf. Sach-, Personen-, Prozess-, und Systemrisiken fallen in den Bereich der internen Betriebsrisiken. Natur-, Infrastruktur- und Rechtsrisiken werden den externen Betriebsrisiken zugeordnet. Supply Chain Risiken setzen sich aus Versorgungs- und Nachfragerisiken zusammen und bilden somit auch externe Risiken (Wolke, 2008, S. 201f; Merz, 2011, S. 27f).

Abbildung 2.1 zeigt verschiedene Quellen der Unsicherheit im Kontext der Produktionsplanung. Dargestellt sind mögliche intern und extern bedingte Unsicherheiten, wobei die Planung als intern bedingte Unsicherheit anzusehen ist. In Bezug auf den Inputprozess stellen Lieferunsicherheiten hinsichtlich Lieferzeit, -treue oder -qualität eine Herausforderung dar (Günther und Tempelmeier, 2009, S. 265). Unsicherheiten bezüglich des Inputprozesses können sich dabei auch auf den gesamten Beschaffungsmarkt ausweiten. Unzuverlässigkeiten der Produktionsanlage sowie hinsichtlich der Bestandshöhe und -qualität werden den Unsicherheiten des Produktionssystems zugeordnet. In der Literatur werden Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Bestandshöhe auch unter dem Begriff der Bestandsunsicherheit zusammengefasst (Nebl, 2007, S. 280; Günther und Tempelmeier, 2009, S. 265). Die Nachfrageunsicherheit wird in Abbildung 2.1 in den Bereich der Outputprozesse eingeordnet. Dabei werden auch das Verhalten der Kunden sowie mögliche Vorgaben aus dem gesamten Absatzmarkt einbezogen (Gebhard, 2009, S. 23).

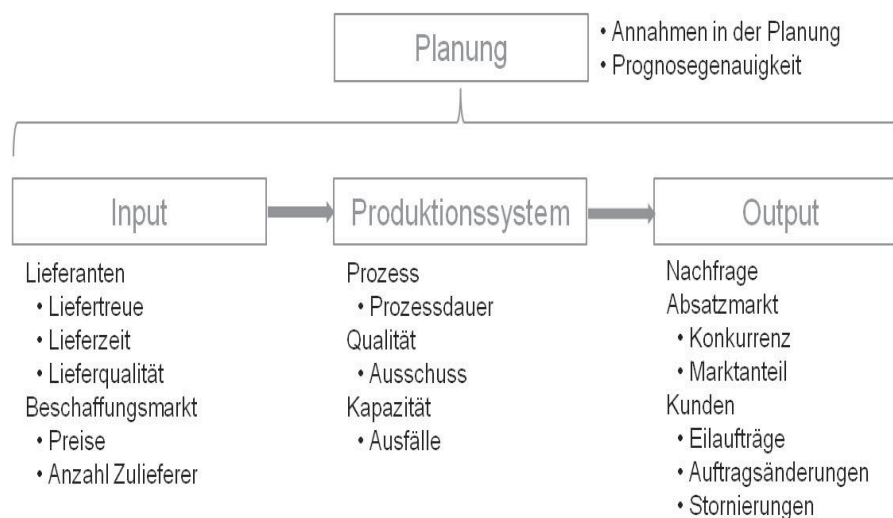


Abbildung 2.1: Quellen von Unsicherheiten in der Planung (in Anlehnung an Gebhard, 2009, S. 22)

Wie Abbildung 2.1 zu entnehmen ist, beziehen sich intern bedingte Unsicherheiten der Produktionsplanung im Wesentlichen auf den Planungsprozess selbst. Unsicherheiten resultieren beispielsweise aus der Aggregation von Daten für Planungsprozesse auf den verschiedenen Ebenen in Unternehmen (Gfrerer und Zäpfel, 1995). Darüber hinaus spielt auch die Prognosegenauigkeit der verwendeten Planungsverfahren eine entscheidende Rolle. Zusätzlich zur Einteilung in extern und intern bedingte Unsicherheiten finden sich in der Literatur vor allem im Zusammenhang mit der Betrachtung einer gesamten Supply Chain weitere Unterscheidungen (siehe Abbildung 2.2). In Tempelmeier (2010, S. 14ff) wird



zusätzlich zur Input- und Outputunsicherheit die Kategorie Informationsunsicherheit eingeführt. Unter Inputunsicherheit wird dabei die fristgerechte mengenmäßige und zeitliche Verfügbarkeit der Artikel bzw. Produkte verstanden. Die Outputunsicherheit kennzeichnet sich durch mengenmäßig und zeitlich unsichere Nachfrage sowie durch fehlerhafte Erzeugnisse. Die Informationsunsicherheit bezieht sich auf eventuelle Schwierigkeiten bei der Messung des tatsächlichen Lagerbestands (vgl. auch Tempelmeier, 2011, S. 14ff).

Bowersox et al. (2010, S. 168) unterscheiden hinsichtlich stochastischer Faktoren mit Einfluss auf Bestände in Nachfrageunsicherheit und Unsicherheit der (Auftrags-)Durchlaufzeit. Zu Unsicherheiten der Durchlaufzeit zählen dabei neben Lieferzeitschwankungen bei den Lieferanten beispielsweise auch Maschinenausfälle, die unter Störungen im Produktionsprozess zusammengefasst werden. Des Weiteren wird die Durchlaufzeit von Faktoren wie Schwankungen in der Transport- und Wiederbeschaffungszeit, der Produktions- und Rüstzeit sowie Kapazitätsbeschränkungen beeinflusst. Nachfrageunsicherheit entsteht vor allem durch Schwankungen in der Prognose. In diesem Zusammenhang wird zudem darauf verwiesen, dass Fehler in der Prognose auch dann auftreten können, wenn das verwendete Prognoseverfahren entsprechend der Eigenschaften der zugrunde liegenden Zeitreihe ausgewählt wird und sich damit aus Sicht von Forschung und Literatur optimal für die entsprechende Zeitreihenprognose eignet (Bowersox et al., 2010, S. 62 u. S. 297).

In Kersten et al. (2009, S. 27ff) und Kersten und Singer (2011) werden darüber hinaus Supply Chain Risiken in Umfeld-, Beschaffungs-, Nachfrage-, Steuerungs- und Prozessrisiken klassifiziert. Zu den Umfeldrisiken zählen beispielsweise politische, ökonomische oder soziale Faktoren. Beschaffungs- und Nachfragerisiken sind auf Lieferanten bzw. Kunden zurückzuführen. Steuerungs- und Prozessrisiken beziehen sich dagegen direkt auf das jeweils betrachtete Unternehmen. Des Weiteren betrachtet Tang (2005) das sogenannte Supply Chain Risk Management. Als Risiken identifiziert er dabei Unsicherheiten hinsichtlich Konjunkturzyklen und Kundennachfragen sowie unvorhersehbare Naturkatastrophen und von Menschenhand verursachte Katastrophen. Genaue Ausführungen zu externen Gefährdungen wie Infrastrukturausfälle, terroristische Anschläge oder Naturereignisse finden sich u.a. in Merz (2011), wobei der Fokus auf der Entwicklung einer Methodik zur Vulnerabilitätsanalyse liegt. Nachfrageunsicherheiten werden in Tang (2005) den operationalen Risiken zugeordnet, wobei strategische und taktische Pläne aus dem Bereich des sogenannten „Demand Managements“ Ansätze zum Umgang mit diesem Risiko darstellen. Als konkrete Maßnahmen werden beispielsweise die Preisgestaltung von Produkten oder eine zeitliche Nachfrageverschiebung herausgestellt. Daneben bietet im Zusammenhang mit der Betrachtung von Supply Chains auch der Abschluss von Verträgen innerhalb der Lieferkette eine Maßnahme zur Senkung der Nachfrageunsicherheit. In Tang (2005) finden sich allerdings keine Hinweise zum Umgang mit Nachfragerisiken im operativen Bereich.

Neben einer Kategorisierung von Unsicherheiten nach deren Art oder Entstehungsgrund kann auch eine zeitliche Charakterisierung stattfinden. Gupta und Maranas (2003) unterscheiden im Umfeld der chemischen Industrie in kurzfristige und langfristige Unsicherheiten. Unsicherheiten auf kurze Sicht können sich aus Variationen im Produktionsprozess, Stornierungen oder fehlerhaften Anlagen bzw. Materialien ergeben. Langfristig lassen sich Unsicherheiten auf Preisfluktuationen, Änderungen in der Produktionsrate oder saisonale Nachfrageschwankungen zurückführen.

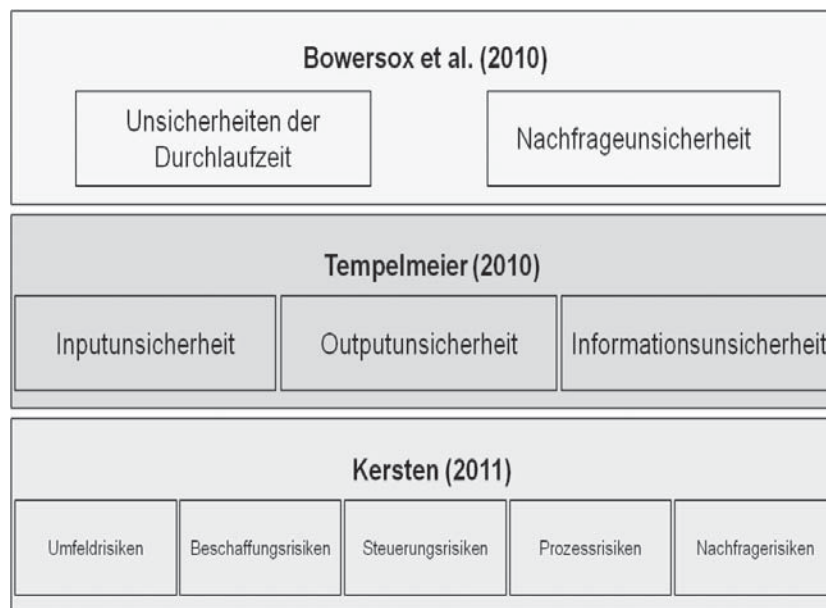


Abbildung 2.2: Ausgewählte Kategorien von Unsicherheiten eingeteilt nach dem Entstehungsgrund im Kontext der Produktionsplanung

Abschließend sei im Zusammenhang mit der Modellierung von Unsicherheiten und Störungen darauf hingewiesen, dass sich Störungen auch hinsichtlich der Regelmäßigkeit ihres Auftretens unterscheiden lassen. In der Literatur wird dabei oftmals eine Einteilung in regelmäßige Abweichungen, sporadische und einmalige Störungen vorgenommen (Scholz-Reiter et al., 2008; Gebhard, 2009, S. 24f). Regelmäßige Abweichungen lassen sich zu meist über Wahrscheinlichkeitsverteilungen darstellen. Sporadische Störungen können beispielsweise aus einer Veränderung des Kundenverhaltens resultieren. Einmalige Störungen, auch Strukturbrüche genannt, sind auf seltene Ereignisse zurückzuführen, die beispielsweise durch Streiks, Konkurse oder auch Naturkatastrophen verursacht werden (Tempelmeier, 2006, S. 33). In Bezug auf eine gesamte Supply Chain scheint es dabei am schwersten, einmalige Störungen zu beherrschen (Hendricks und Singhal, 2005, S. 6). Zur Berücksichtigung unsicherer Daten in der Planung existieren in Abhängigkeit von der Regelmäßigkeit der auftretenden Störungen verschiedene Ansätze, die jeweiligen Unsicherheiten abzubilden. Für nähere Ausführung wird u.a. auf Tempelmeier (2006, S. 33ff) sowie Kuhn und Gebhard (2008) verwiesen.

Auftretende Störungen können Auswirkungen auf Güter- und Dienstleistungsflüsse sowie Informations- und Finanzflüsse haben (Kersten und Singer, 2011). Maßnahmen zum Umgang mit den dargestellten Unsicherheiten und Störungen können grundsätzlich in einwertige und mehrwertige Modelle unterschieden werden (Scholl und Klein, 1998, S. 5). Um die Verwendung aller verfügbaren Ausprägungen des zu schätzenden Parameters zu umgehen, ersetzen einwertige Modelle unsichere Daten durch einen Ersatzwert. Im Rahmen der Produktion bzw. des Bestandsmanagements kann beispielsweise die Verwendung von Sicherheitspuffern als konzeptioneller, einwertiger Ansatz genannt werden (Gebhard, 2009, S. 27). Dagegen basiert das Prinzip mehrwertiger Modelle auf der Einbeziehung aller möglichen Ausprägungen. Dies kann z.B. über Szenarienbildung oder Verteilungsfunktionen abgebildet werden (Gebhard, 2009, S. 29f).



Die vorliegende Arbeit ist nach der Kategorisierung von Bowersox et al. (2010) sowie Kersten und Singer (2011) in den Bereich der Nachfragerisiken bzw. Nachfrageunsicherheiten bzw. nach Tempelmeier (2010) in den Bereich der Outputunsicherheiten einzuordnen. Dabei wird insbesondere die Vorhersagbarkeit von Nachfrageschwankungen in den Zeiträumen und dem Detaillierungsgrad der operativen Produktionsplanung betrachtet. Das in den folgenden Kapiteln untersuchte Schätzmodell erfüllt also die Aufgabe der Nachfrageprognose. Eine Einbeziehung von weiteren Unsicherheiten, die sich beispielsweise auf die gesamte Supply Chain oder sonstige auftretende Störungen beziehen, wird nicht vorgenommen.

## 2.2 Grundlagen der Produktionsplanung

Die Bestimmung des zukünftigen Produktionsplans eines Industrieunternehmens kann auf den verschiedenen Unternehmensebenen und damit auch Abstraktionsleveln unterschiedlich durchgeführt werden. Je nach Unternehmensebene wird dabei eine strategische, taktische oder operative Produktionsplanung durchgeführt.

Die Aufgaben und Ziele der Produktionsplanung sind durch Entscheidungen unter Unsicherheit bezüglich Menge und Qualität sowie gegenseitig voneinander abhängigen Teilbereichen gekennzeichnet. Der Begriff der Produktionsplanung definiert sich über die Planung der zu fertigenden Produkte, die dafür benötigten Produktionsfaktoren (menschliche Arbeit, Werkstoffe, Betriebsmittel) und den Produktionsprozess selbst (vgl. u.a. Gutenberg, 1983, S. 15ff; Kistner und Steven, 2001, S. 3f; Bloech et al., 2008, S. 3f). Dabei soll ein gegebenes Formalziel, wie z.B. die Gewinnmaximierung, bestmöglich erreicht werden (vgl. u.a. Zäpfel, 2000a, S. 1; Kiener et al., 2009, S. 5). Lieferzeit und Servicelevel sowie produzierte Qualität sind dabei die Hauptfaktoren bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit eines Produktionssystems. Die dadurch verursachten Kosten sind vor allem auf Prozess- und Bestandskosten zurückzuführen (Arnold et al., 2008, S. 324). Darüber hinaus sollten auch der unsichere Produktbedarf der Kunden sowie weitere unsichere Faktoren wie Preise von Rohstoffen in die Produktionsplanung einbezogen werden (Li, 2007, S. 58). Diese Zufallsvariablen können zum Zeitpunkt der Planung nicht bestimmt werden, aber entsprechend über historische Daten geschätzt werden (vgl. Kapitel 3). Unter unsicheren Marktbedingungen zielt die Produktionsplanung demnach neben der Maximierung des Produktionsgewinns auch auf das Erreichen einer hohen Betriebssicherheit ab (Li, 2007, S. 58).

Die Aufgaben der Produktionsplanung bzw. des Produktionsmanagements werden in der Literatur zumeist über die zugehörige Fristigkeit oder den betrachteten Planungsgegenstand unterschieden. Über die zeitliche Reichweite können demnach strategische (langfristige), taktische (mittelfristige) und operative (kurzfristige) Planungsentscheidungen differenziert werden (vgl. u.a. Domschke et al., 1997, S. 8; Günther und Tempelmeier, 2009, S. 26f). Neben dem zeitlichen Bezugsrahmen können die strategische, taktische und operative Produktionsplanung auch hinsichtlich Merkmalen wie dem Differenziertheits- und Detailliertheitsgrad, der Präzision oder der Problemstruktur unterschieden werden (Bloech et al., 2008, S. 127). Die strategische Produktionsplanung beantwortet dabei grundlegende Fragen zum Sortiment, den eingesetzten Verfahren und Produktionsfaktoren sowie dem



Produktionsstandort. In der taktischen Produktionsplanung wird das Produktionsprogramm detailliert ausgearbeitet und bezüglich der Betriebsmittel, des Personals und der Lagerbestände mittelfristige Kapazitätsanpassungsmaßnahmen durchgeführt. Die tägliche oder wöchentliche Festlegung der Produktionsmengen, die Bereitstellung der Werkstoffe sowie die Produktionsprozessplanung sind Gegenstand der operativen Produktionsplanung (Günther und Tempelmeier, 2009, S. 146).

Hinsichtlich des Planungsgegenstands unterscheidet Gutenberg (1983) die Planungsbereiche der Produktionsprogrammplanung, der Bereitstellungsplanung und der Produktionsprozessplanung, die in den nachfolgenden Abschnitten 2.2.1 bis 2.2.3 für den Bereich der operativen Produktionsplanung kurz erläutert werden. Im amerikanischen Raum geht die Aufgabengliederung nach dem Planungsgegenstand zurück auf die Logik der Material Requirements Planning (MRP), wobei diese Bezeichnung heutzutage auch im deutschsprachigen Raum üblich ist (vgl. u.a. Mabert, 2007). Eine Übersicht der Aufgaben der Produktionsplanung, gegliedert nach Fristigkeit und Planungsgegenstand, zeigt Tabelle 2.1. Zudem sind die jeweiligen Aufgaben der Produktionssteuerung ergänzt, die beispielsweise die Auftragsfreigabe erteilt oder auch die tatsächlich verbrauchten Materialien überwacht. Daneben wird in Tuma et al. (1999, S. 9ff) sowie Tuma und Müller (2000) darauf hingewiesen, dass auch ökologische Kriterien in einer zukunftsorientierten Produktionssteuerung berücksichtigt werden sollten. Diese Umweltaspekte finden sich dabei nicht zuletzt im Energie- und Materialflussprozess eines modernen Produktionssystems. Gleichzeitig sollen aber auch die Grundsätze unternehmerischen Handelns berücksichtigt werden. Eine emissionsarme und ressourcenschonende Produktionssteuerung soll zudem eine flexible Produktion ermöglichen sowie vor- und nachgelagerte Produktionsstufen bzw. Unternehmen beispielsweise mit Hilfe von virtuellen Produktionsnetzwerken in die Planung einbeziehen (vgl. u.a. Tuma, 1998).

An dieser Stelle sei zudem angemerkt, dass die in Tabelle 2.1 vorgeschlagene Gliederung der vorliegenden Arbeit als Grundlage dient. In der Literatur lassen sich aber auch Angaben finden, die an einigen Stellen von der gewählten Darstellung abweichen (vgl. u.a. Dyckhoff und Spengler, 2007, S. 195ff).

Die vorliegende Arbeit ist auf die operative Produktionsplanung fokussiert. Dennoch bilden die strategischen und taktischen Bereiche zusammen mit rechtlichen und organisatorischen Vorgaben wichtige Rahmenbedingungen für das operative Produktionsmanagement und spielen daher im gesamten Planungsprozess eine wesentliche Rolle (Schneeweiß, 1991, S. 157ff; Zäpfel, 2000a; Zäpfel, 2000b; Schneeweiß, 2002, S. 93ff; Kiener et al., 2009, S. 15ff). Im Rahmen der strategischen und taktischen Planung wird das Produktionssystem gestaltet, während es mit der operativen Produktionsplanung in zeitlicher und mengenmäßiger Hinsicht optimal genutzt werden soll (Kiener et al., 2009, S. 152f; Veit, 2010, S. 11).

Neben den zu Beginn des Abschnitts bereits kurz angesprochenen und in den folgenden Abschnitten dargestellten deterministischen Ansätzen zur Produktionsplanung, die der Einteilung aus Tabelle 2.1 folgen, finden sich u.a. in Li et al. (2003) und Li (2007, S. 57ff) in Verbindung mit verfahrenstechnischen Prozessen Methoden zum Umgang mit stochastischen Daten. Dabei werden Unsicherheiten bezüglich der Versorgung mit Rohstoffen oder Produktionsanlagen sowie bezüglich der Produktnachfrage einbezogen. Unter der Prämisse der Maximierung des Produktionsgewinns wird in der Praxis die Methode der



Tabelle 2.1: Übersicht der Aufgaben der Produktionsplanung nach Fristigkeit und Planungsgegenstand (in Anlehnung an Domschke et al., 1997, S. 8ff; Veit, 2010, S. 9)

	Produktionsprogrammplanung	Bereitstellungsplanung	Produktionsprozessplanung
Strategische Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition Produktfelder, -linien, -technologien</li> <li>• Breite und Tiefe des Produktionsprogramms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standortplanung</li> <li>• Dimensionierung und Beschaffung langlebiger Maschinen und Anlagen</li> <li>• Personalentwicklungsplan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition der Produktionstechnologien</li> <li>• Wahl des Anordnungstyps der Fertigung</li> </ul>
Taktische Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktentwicklungsplan</li> <li>• Produktstandardisierung und Marktbezug bestimmen</li> <li>• Entscheidung über Eigen- oder Fremdfertigung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionen in Leistungsvermögen der Produktiveinheiten</li> <li>• Auswahl Lieferanten, Bezugsquellen</li> <li>• Festlegung der Bestandsauslegungsverfahren</li> <li>• Planung von Personalqualifizierungsmaßnahmen</li> <li>• Festlegung Arbeitszeitmodell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung der Verfahrensentwicklung</li> <li>• Innerbetriebliche Standortplanung</li> <li>• Fließbandabstimmung, Layoutplanung</li> <li>• Planung der mittelfristigen Arbeitsvorbereitung</li> </ul>
Operative Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primärbedarfsplanung</li> <li>• Bestellvorschau und Kapazitätsbestimmung mit Lieferanten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung von Instandhaltungsmaßnahmen</li> <li>• Bestandsauslegung</li> <li>• Bestellung fremdbezogener Materialien</li> <li>• Personaleinsatzplanung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Losgrößenplanung</li> <li>• Durchlaufterminierung</li> </ul>
Produktionssteuerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auftragsfreigabe</li> <li>• Auftragsüberwachung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfassung tatsächlich verbrauchter Materialien</li> <li>• Erfassung geleisteter Arbeitsstunden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maschinenbelegungsplan</li> <li>• Störungsmanagement</li> </ul>





Worst-Case-Analyse eingesetzt. Hinsichtlich der beiden betrachteten Unsicherheiten wird dabei immer der ungünstigste Fall berücksichtigt. In der ebenfalls verwendeten Base-Case-Analyse wird die Produktion auf Grundlage der Erwartungswerte der unsicheren Größen geplant (Li, 2007, S. 59). Eine robuste<sup>1</sup> Produktionsstrategie kann über eine Szenarioanalyse der unsicheren Parameter bestimmt werden (vgl. u.a. Yang, 2005, S. 178; Schuh, 2006, S. 729). Darüber hinaus finden sich auch mathematische Optimierungsmodelle für die Produktionsplanung verfahrenstechnischer Prozesse unter unsicheren Marktbedingungen (Li, 2007, S. 60).

Abschließend sei angemerkt, dass u.a. die Branchenzugehörigkeit eines Unternehmens oder auch die Ressourcenverfügbarkeit von Rohstoffen einen entscheidenden Einfluss auf die Produktionsplanung hat. Während beispielsweise in der bei Li (2007) thematisierten Verfahrenstechnik eine analytische Chargenproduktion erfolgt, wird in der Fertigungsindustrie meist in Losen produziert. Die Produkte werden über synthetische Stoffumformungsprozesse hergestellt, so dass hier die Produktion über die Programm-, Bereitstellungs- und Prozessplanung zumeist besser gestaltet werden kann.

### 2.2.1 Produktionsprogrammplanung

Innerhalb des Produktionsprogramms wird festgelegt, welche Produkte in welchen Mengen in welcher Planungsperiode hergestellt werden. Merkmale des Produktionsprogramms sind vor allem die Programmstruktur, also Breite und Tiefe des Programms, der Grad der Standardisierung der zu fertigenden Produkte sowie der Marktbezug (Domschke et al., 1997, S. 9f; Schneeweiß, 2002, S. 128ff; Corsten und Gössinger, 2009, S. 164ff). Unter dem Marktbezug ist dabei die Möglichkeit einer kundenspezifischen Anpassung an verschiedene Produktvarianten zu verstehen. Wie Tabelle 2.1 zu entnehmen ist, bedeutet dies für die operative Produktionsplanung die Festlegung von Produktmengen in einem vorgegebenen Zeitraum. Dabei sollten auch die Beschaffungs- und Absatzmöglichkeiten sowie die übergeordneten Unternehmensziele berücksichtigt werden (Domschke et al., 1997, S. 10). Das Produktionsprogramm wird demnach nicht zuletzt auf Grundlage der Absatzerwartungen bestimmt, so dass die Güte von Nachfrageprognosen eine entscheidende Rolle spielt (Kiener et al., 2009, S. 164). Für die Berechnung des optimalen Produktionsprogramms können Methoden des Operations Research, wie z.B. die lineare Optimierung, mit dem Ziel der Deckungsbeitragsmaximierung eingesetzt werden (Domschke et al., 1997, S. 10; Dyckhoff und Spengler, 2007, S. 202f).

### 2.2.2 Bereitstellungsplanung

Die Planung der zur Fertigung benötigten Produktionsfaktoren ist Gegenstand der Bereitstellungsplanung<sup>2</sup>. Zu den Produktionsfaktoren zählen dabei Betriebsmittel, Arbeitskräfte und Werkstoffe (Kistner und Steven, 2001, S. 3). Im Hinblick auf die Einteilung der Produktionsfaktoren nach Gutenberg handelt es sich demnach um die Planung der

<sup>1</sup>Weitere Ausführungen zu Robustheit und robuster Planung in den Wirtschaftswissenschaften sowie der Mathematik finden sich beispielsweise in Scholl (2001b) bzw. Schöbel und Kratz (2009).

<sup>2</sup>In der Literatur ist die Bereitstellungsplanung teilweise auch unter dem Begriff der Potentialgestaltung zu finden (vgl. u.a. Corsten und Gössinger, 2009, S. 27).





sogenannten Elementarfaktoren (Zäpfel, 1982, S. 3; Gutenberg, 1983, S. 27ff). Die Bereitstellung sollte dabei sowohl in Bezug auf quantitative als auch qualitative Vorgaben erfolgen und die damit verbundenen Kosten minimieren (Domschke et al., 1997, S. 11; Dyckhoff und Spengler, 2007, S. 197).

Zur mittel- und langfristigen Bereitstellung von Betriebsmittel werden beispielsweise die betriebliche Standortplanung, die Layoutplanung oder auch die Lagerdimensionierung gezählt. Da dadurch der Betriebsmittelbestand weitestgehend festgelegt ist, können im Rahmen der kurzfristigen bzw. operativen Bereitstellungsplanung Kapazitätsänderungen durchgeführt werden. Möglichkeiten bieten hier beispielsweise Veränderungen der Betriebszeit oder eine Wiederinbetriebnahme stillgelegter Anlagen. Darüber hinaus sei angemerkt, dass die Bereitstellung von Betriebsmitteln im engeren Sinn auch als Investitionsplanung bezeichnet wird (Domschke et al., 1997, S. 11).

In Bezug auf die Bereitstellung von Arbeitskräften zählt die Personaleinsatzplanung zu den kurzfristig zu planenden Maßnahmen. Auf mittel- bis langfristige Sicht ist für Unternehmen die Personalpotentialplanung bzw. die Personalentwicklung ebenfalls von Bedeutung. Darüber hinaus sind bei der Planung der Arbeitskräfte auch rechtliche Aspekte, Personalkosten oder Maßnahmen zur Mitarbeitermotivation zu berücksichtigen (Domschke et al., 1997, S. 11f; Bloech et al., 2008, S. 176).

Im Rahmen der Materialbereitstellung findet eine kurz- bis mittelfristige Materialbedarfsplanung von Werkstoffen (Fertigungsrohstoffe, Hilfsstoffe, Halb- und Fertigfabrikate) und Betriebsstoffen statt (Domschke et al., 1997, S. 12; Bloech et al., 2008, S. 177). Die Materialbedarfsplanung kann dabei anhand von verbrauchs- oder programmgesteuerten Faktoren durchgeführt werden (Bloech et al., 2008, S. 180ff). Zur verbrauchsgesteuerten Planung zählen beispielsweise Regressionsverfahren oder die exponentielle Glättung erster Ordnung (vgl. Abschnitt 3.2). Dabei werden die Verbrauchszahlen auf Basis vergangener Daten und gegebenenfalls vorliegender Informationen über Trends oder Saisonschwankungen geschätzt. Ausgehend von strukturellen Zusammenhängen zwischen den eingesetzten Produktionsfaktoren und den gefertigten Produkten berechnet die programmgesteuerte Bedarfsermittlung den Materialbedarf über das Auflösen von Stücklisten oder Rezepturen. Die programmgesteuerte Materialbedarfsplanung sollte nur bei vorliegenden sicheren, deterministischen Informationen über Bedarfswerte eingesetzt werden (Zäpfel, 1982, S. 154ff; Bloech et al., 2008, S. 185).

Auf der Grundlage der Materialbedarfsplanung kann dann die Materialbeschaffung ausgearbeitet werden. Zu den Beschaffungsarten zählen dabei die Einzelbeschaffung, die fertigungssynchrone Beschaffung und die Vorratsbeschaffung (Domschke et al., 1997, S. 14). Bezüglich der Vorratsbeschaffung spielen demzufolge die Lagerhaltung und als damit verbundene Kenngröße der Servicegrad eine wichtige Rolle. Der Servicegrad ist dabei definiert als das Verhältnis von unmittelbar zu befriedigender Nachfrage und der gesamten auftretenden Nachfrage in einem vorgegebenen Zeitraum (Domschke et al., 1997, S. 15).

Zur Bereitstellungsplanung ist ergänzend zu erwähnen, dass neben der mengenmäßigen und zeitlichen Bereitstellung, auch Probleme der Transportplanung bearbeitet werden. Hinsichtlich der Thematik der vorliegenden Arbeit soll die Aufstellung eines Transportplans jedoch nicht weiter ausgeführt werden (vgl. dazu u.a. Domschke et al., 1997, S. 15; Günther und Tempelmeier, 2009, S. 286ff; Pfohl, 2010, S. 150ff).



### 2.2.3 Produktionsprozessplanung

Die zeitliche, mengenmäßige und räumliche Planung der Produktion auf Basis von Wochen, Tagen oder Stunden ist Aufgabe der Produktionsprozessplanung (Zäpfel, 1982, S. 192ff; Arnold et al., 2008, S. 329ff). Anhand der Vorgaben aus der Produktionsprogramm- und Bereitstellungsplanung werden entsprechende Fertigungsaufträge erstellt. Unter einem Fertigungsauftrag ist dabei eine zeitlich begrenzte Anweisung zu verstehen, durch die eine bestimmte Menge eines Vor-, Zwischen- oder Endprodukts hergestellt werden soll (Domschke et al., 1997, S. 15). Die im Rahmen der Produktionsprozessplanung sukzessiv zu bearbeitenden Teilaufgaben gliedern sich in die Losgrößenbestimmung, die Durchlauf- und Kapazitätsterminierung sowie die Reihenfolgeplanung und Feinterminierung.

Für die Losgrößenbestimmung muss zunächst grundlegend entschieden werden, ob unter den gegebenen Voraussetzungen und Zielen eine Losbildung sinnvoll ist. Ein Los ist dabei eine Menge gleicher Objekte, „die von einer Produktiveinheit unmittelbar hintereinander ohne Rüstvorgänge zu fertigen sind“ (Domschke et al., 1997, S. 16). Zur Losgrößenplanung wird häufig ein auf Harris und Andler zurückgehendes Grundmodell (Economic Order Quantity Modell) verwendet, das hier nicht näher ausgeführt werden soll (vgl. Andler, 1929; Harris, 1990). Auf Basis der Terminvorgaben aus der Bereitstellungsplanung werden über die Durchlaufterminierung die Zeitpunkte für die Bearbeitung der geplanten Fertigungsaufträge bestimmt. Eine Möglichkeit bietet hier beispielsweise die Netzplantechnik, wobei für genauere Erläuterungen auf weiterführende Literatur verwiesen wird (Domschke und Drexel, 2007, S. 96ff). Anhand der Informationen aus den Netzplänen sollte dann mit Hilfe der Kapazitätsterminierung das Kapazitätsangebot und der Kapazitätsbedarf entsprechend angepasst werden. Abschließend wird durch die Reihenfolgeplanung und Feinterminierung der Maschinenbelegungsplan bestimmt (Domschke et al., 1997, S. 16f). Die Bestimmung des Maschinenbelegungsplan kann dabei auch der Produktionssteuerung zugeordnet werden (vgl. Tabelle 2.1).

## 2.3 Grundlagen des Bestandsmanagements

Der erkennbare Trend der vergangenen Jahre hin zu sinkenden Stückzahlen je Produktvariante und die damit verbundene steigende Variantenvielfalt sowie die Forderung nach kurzen Lieferzeiten und hoher Lieferbereitschaft verlangt eine hohe logistische Leistungsfähigkeit, um eine wirtschaftliche Produktion zu ermöglichen (vgl. u.a. Schuh und Stich, 2009, S. 11f). Für die operative Planung von Unternehmen bedeutet dies, sich im Kern auf die Prognose von Kundenaufträgen bzw. Bedarfen, das Management von Lagerbeständen und die Produktionsplanung zu fokussieren (Herrmann, 2011, S. 1). Dabei sei angemerkt, dass die im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stehenden Bedarfsprognosen sowohl Einfluss auf die in Abschnitt 2.2 dargestellte Produktionsplanung als auch auf das Bestandsmanagement haben. Aus diesem Grund werden im Folgenden kurz die Aufgaben und Ziele des Bestandsmanagements thematisiert.

Grundlegende Aufgaben des Bestandsmanagements sind die Bestimmung von Bestellmenge und Bestellzeitpunkt (Toporowski, 1996, S. 25; Arnold et al., 2008, S. 153). Neben der Bereitstellung von benötigtem Material versucht das Bestandsmanagement, den Zielkonflikt zwischen hoher Lieferbereitschaft am Markt und niedrigen Kosten auf ideale