



Prof. Dr. Enrico Teich

ist seit Sommer 2022 Professor für Betriebswirtschaftslehre an der Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Dresden, und leitet dort die Studienrichtung Industrie im Studiengang Betriebswirtschaft. Vor seinem Wechsel an die Berufsakademie war er als Team- und Projektleiter bei einem führenden Hersteller für Advanced Planning and Scheduling (APS) Software tätig. Diese Systeme lösen unter Einsatz von Verfahren des Operations Research vor allem Produktionsplanungsprobleme in Industrieunternehmen. Seine Lehr- und Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Produktions- und Logistikmanagement sowie betriebliche Informationssysteme. In diesem Zusammenhang beschäftigt er sich insbesondere mit der Berücksichtigung von Unsicherheiten und Nachhaltigkeitsaspekten in Planungs- und Steuerungsmethoden.

Kontakt: enrico.teich@ba-sachsen.de

Produktionsplanung unter Unsicherheit

Enrico Teich

Abstract

Unsicherheiten sind in der Produktionsplanung allgegenwärtig. Unerwartete Entwicklungen der jüngeren Vergangenheit, wie die zunehmende Versorgungsunsicherheit durch Pandemien und Kriege, verdeutlichen dies. Der Einsatz von Planungsverfahren, die von deterministischen Umweltbedingungen ausgehen bzw. diese voraussetzen, gefährdet den Unternehmenserfolg. Der vorliegende Beitrag nimmt eine grundsätzliche Einordnung der existierenden Ansätze zur systematischen Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Produktionsplanung vor. Dem geht eine Auseinandersetzung mit Total- und Partialplanungsmodellen sowie eine Definition des Unsicherheitsbegriffs und die Benennung relevanter Unsicherheitstreiber voraus.

Uncertainties are omnipresent in production planning. Unexpected developments in the recent past, such as the increasing uncertainty of supply due to pandemics and wars, illustrate this. The use of planning methods that assume or presuppose deterministic environmental conditions endangers corporate success. This article provides a basic classification of existing approaches to the systematic consideration of uncertainties in production planning. This is preceded by a discussion of total and partial planning models as well as a definition of the term uncertainty and the naming of relevant uncertainty drivers.

Einleitung

Der Erfolg von Industrieunternehmen wird wesentlich durch die Planung ihrer Produktionsprozesse beeinflusst. Die dabei eingesetzten Methoden und Systeme sollen grundsätzlich eine effektive und effiziente Wertschöpfung unter Nutzung der in den Unternehmen vorhandenen Potenzial- und Repetierfaktoren sicherstellen. Aufgrund von Outsourcingbestrebungen ist der betriebliche Wertschöpfungsprozess heute vielfach in geografisch verteilte und hochkomplexe Wertschöpfungsnetzwerke eingebettet. Darüber hinaus führt der rasante technologische Fortschritt, insbesondere die fortschreitende Automatisierung und Digitalisierung, zu Veränderungen in der Produktionsplanung. Nicht zuletzt sollten Nachhaltigkeitsüberlegungen bei der Umsetzung der Planungsaufgaben berücksichtigt werden. Die Verfügbarkeit produktionsrelevanter Rohstoffe und Arbeitskräfte ist zukünftig und teilweise bereits heute nicht mehr gesichert. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Produktionsplanung zunehmend unter unsicheren Rahmenbedingungen erfolgen muss.

Produktionsplanung

Die Methoden zur Lösung von Entscheidungsproblemen der Produktionsplanung lassen sich grundsätzlich in Total- und Partialplanungskonzepte unterteilen. Dabei kann von einer Totalplanung gesprochen werden, wenn die eingesetzte Methode in der Lage ist, alle Planungsaufgaben über alle relevanten Planungshorizonte hinweg simultan zu lösen (vgl. z.B. Buzacott et al. 2010). Dazu müssen alle Zielgrößen und Restriktionen in ein Optimierungsmodell integriert werden. Selbst wenn diese Modellierung gelingt, ist die Lösung des Problems wahrscheinlich nicht in vertretbarer Zeit möglich. Zudem müssen zur Lösung des Problems alle notwendigen Daten gleichzeitig in der benötigten Qualität verfügbar sein, was ebenfalls häufig nicht gegeben ist. Zur Lösung langfristiger Planungsaufgaben sind aggregierte Daten, die sich zumeist unter Einsatz von Prognoseverfahren ermitteln lassen, ausreichend. Die Lösung kurzfristiger Planungsaufgaben setzt den Zugang zu detaillierten Daten voraus. Diese Daten konkretisieren sich jedoch erst im Zeitablauf und stehen daher für einen längeren

Planungshorizont nicht unmittelbar zur Verfügung (vgl. z.B. Claus et al. 2021).

Vor diesem Hintergrund wird bei Partialplanungskonzepten das Gesamtproblem in Teilprobleme (Planungsebenen, Planungsstufen) zerlegt. Diese Teilprobleme werden dann durch die Anwendung einzelner Optimierungsmodelle sukzessive gelöst und die Teillösungen zu einer Gesamtlösung zusammengeführt. Bei der Umsetzung dieses Planungsansatzes müssen bestimmte Interdependenzen berücksichtigt werden. Im Folgenden werden die relevanten Planungsebenen, hierzu zählen die Produktionsprogrammplanung, die Materialbedarfs- und Losgrößenplanung sowie die Ressourcenbelegungsplanung, als auch deren Abhängigkeiten in Form eines hierarchischen Planungskonzeptes beschrieben (vgl. hierzu weiterführend Drexel et al. 1994; Günther und Tempelmeier 2016; Herrmann und Manitz 2021). Durch die Partialplanung wird kein globales Optimum für die Produktionsplanung erreicht. Vielmehr wird systematisch nach einer Näherungslösung gesucht, die die einzelnen Optimierungsziele möglichst gut erfüllt und deren Planungsergebnisse sich im Produktionsprozess realisieren lassen.

Auf der ersten Planungsebene – der Produktionsprogrammplanung – wird festgelegt, welche Endprodukte in welcher Menge zu welchem Zeitpunkt benötigt und demnach hergestellt werden sollen. Ein Planungsziel ist insbesondere die möglichst genaue Befriedigung der zukünftig erwarteten Marktnachfrage. Dabei ergibt sich das Produktionsprogramm zum einen aus bereits vorliegenden Kundenaufträgen (Kundenbedarfen) und zum anderen aus Prognosebedarfen, die noch nicht durch konkrete Aufträge untersetzt sind. Hierbei fließen sowohl Interessensbekundungen von Kunden über potenzielle Abnahmemengen als auch quantitative Prognoseverfahren (Prognosemodelle) auf Basis von Zeitreihendaten in die Ermittlung ein. In den in der Praxis eingesetzten Softwaresystemen werden diese Planungen häufig ohne detaillierte Berücksichtigung zukünftiger Produktionskapazitäten durchgeführt, obwohl in der Forschung geeignete Optimierungsmodelle zur Verfügung stehen (vgl. hierzu z.B. Günther und Tempelmeier 2016; Herrmann und Manitz 2021).

Die Materialbedarfsplanung hat die Aufgabe zu ermitteln, welche Verbrauchsfaktoren (Materialien) in welcher Menge und in welchem Zeitraum benötigt werden, um das in der ersten Planungsstufe erstellte Produktionsprogramm zu realisieren. Als Datenbasis dienen neben dem Produktionsprogramm Stücklisten, Durchlaufzeiten, Bestände und Wiederbeschaffungszeiten. Aus den im Produktionsprogramm festgelegten Primärbedarfen (Bedarf an Endprodukten) werden über die Stücklistenauflösung Sekundärbedarfe (Bedarf an Verbrauchsfaktoren) abgeleitet. Über die in den Stücklisten gepflegten Direktbedarfskoeffizienten ergeben sich die Mengenverhältnisse zwischen

Primär- und Sekundärbedarfen. Die Terminierung der Sekundärbedarfe ergibt sich aus den Vorlaufzeiten, die entweder aus dem Arbeitsplan ermittelt werden müssen oder im Materialstamm hinterlegt sind. Hinsichtlich der Berücksichtigung von Beständen wird in der Materialbedarfsplanung zwischen Brutto- und Nettobedarfen unterschieden. Bruttobedarfe sind periodenbezogene Bedarfe ohne Berücksichtigung des verfügbaren (disponiblen) Lagerbestandes. Nettobedarfe ergeben sich aus den Bruttobedarfen abzüglich der verfügbaren Lagerbestände des jeweils betrachteten Endprodukts bzw. Verbrauchsfaktors. Werden die Nettobedarfe mengen- und zeitgenau bereitgestellt, spricht man von einer einsatzsynchrone Materialbereitstellung. Eine Zwischenlagerung der beschafften Materialien ist hierbei nicht oder nur kurzfristig erforderlich. Daher kann bei dieser Strategie von geringen Lagerhaltungskosten ausgegangen werden. Allerdings können durch die einsatzsynchrone Materialbereitstellung hohe Rüstkosten entstehen. Daher ist es Aufgabe der Losgrößenplanung, festzulegen, wie Nettobedarfmengen in geeigneter Weise zu Produktions- und Beschaffungslosen zusammengefasst werden können. Durch die Losbildung werden Nettobedarfe teilweise vor ihrem eigentlichen Bedarfstermin beschafft. Folglich sind mit der Losbildung höhere Lagerhaltungskosten, aber auch geringere Rüstkosten verbunden. Der Stand der Forschung zur integrierten Lösung von Materialbedarfs- und Losgrößenplanung wird beispielsweise von Almeder und Traxler (2021) aufgearbeitet.

In der Materialbedarfs- und Losgrößenplanung wurden zur Deckung der Nettobedarfmengen Produktionsaufträge und Lieferantenbestellungen bzw. Bestellvorschläge erzeugt. In der Ressourcenbelegungsplanung (auch Ressourceneinsatzplanung) geht es nun darum, die Produktionsaufträge den konkreten Produktionsressourcen – Arbeitsplätzen, Werkzeugen und Personal – zuzuordnen. Optimierungsziele der Ressourcenbelegungsplanung sind häufig die Einhaltung der in der Materialbedarfsplanung ermittelten Auftragsendtermine sowie die Vermeidung unnötiger Rüstzeiten. Diese Planungsaufgabe muss unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Produktionskapazitäten gelöst werden. Diese Kapazitäten ergeben sich unter anderem aus Schichtmodellen, Sonderzeiten (z.B. Wartung, Urlaub) und bereits bestehenden Belegungen der genannten Ressourcen. Unter Vernachlässigung der Forschungsergebnisse der letzten Jahre werden Ressourcenbelegungspläne in ERP-Softwaresystemen (Enterprise Resource Planning) häufig noch ohne Berücksichtigung von Produktionskapazitäten erstellt. Dies führt in der Regel zu Planungsergebnissen, die in der Praxis aufgrund der Verletzung von Kapazitätsrestriktionen nicht umgesetzt werden können. APS-Softwaresysteme (Advanced Planning and Scheduling) lösen dieses Defizit, indem sie vorhandene Kapazitätsrestriktionen bei der Lösung des Ressourcenbelegungsproblems berücksichtigen.

Unsicherheiten

Die Lösung der beschriebenen Entscheidungsprobleme in der Produktionsplanung wird wesentlich durch nicht beeinflussbare Umweltzustände (Daten) beeinflusst (vgl. z.B. Klein und Scholl 2011; Laux et al. 2018). Dazu gehören beispielsweise die Entwicklung der zukünftigen Kundennachfrage oder die Materialverfügbarkeit auf dem Beschaffungsmarkt. Ist zum Zeitpunkt der Planung bekannt, welche Ausprägungen diese relevanten Daten in der Zukunft annehmen werden, so kann die Planungsentscheidung unter Sicherheit getroffen werden. In Entscheidungssituationen, in denen eine solche deterministische Vorhersage der Daten ganz oder teilweise nicht möglich ist, muss in der Produktionsplanung unter Unsicherheit gehandelt werden. Bei Vorliegen von Unsicherheit im engeren Sinne kann zwar angegeben werden, welche Umweltzustände prinzipiell eintreten können, die Angabe von Eintrittswahrscheinlichkeiten ist jedoch nicht möglich. Können den möglichen Umweltzuständen Eintrittswahrscheinlichkeiten zugewiesen werden, dann wird von einer Planungsentscheidung unter Risiko gesprochen. Im Kontext der Produktionsplanung kann in der Regel von Risikosituationen ausgegangen werden.

Ein wesentlicher Unsicherheitstreiber für die Produktionsplanung ist die deutlich gestiegene Variantenvielfalt der von den produzierenden Unternehmen angebotenen Produkte. Diese Variantenexplosion ist unter anderem auf den in den letzten Jahrzehnten vollzogenen Wandel von Anbieter- zu Käufermärkten im Zuge der Globalisierung und der damit einhergehenden Intensivierung des Wettbewerbs zurückzuführen. Die Differenzierung gegenüber der Konkurrenz erfolgt nun vielfach über eine möglichst umfassende Befriedigung der individuellen Produktnachfrage (vgl. hierzu ausführlich Teich 2018). Welches Produkt in welcher Variante und in welcher Menge zu welchem Zeitpunkt nachgefragt wird, lässt sich nur noch schwer vorhersagen. Die Bevorratung von Halbfabrikaten und Endprodukten ist daher nur noch sehr eingeschränkt möglich. Gleichzeitig ist zu beachten, dass sich die Lieferzeiterwartungen der Kunden zunehmend verschärfen (vgl. z.B. Statista 2017). Weitere Herausforderungen für die Produktionsplanung ergeben sich beispielsweise aus der Unsicherheit hinsichtlich der Verfügbarkeit und der Einstandspreise von Ressourcen auf globalen Beschaffungsmärkten, hervorgerufen durch unerwartete Ereignisse, wie Krankheitswellen und Kriege.

Lösungsansätze

Abbildung 1 zeigt eine mögliche Einteilung von Ansätzen zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Produktionsplanung. Dabei kann zunächst eine Einteilung in proaktive und reaktive Ansätze vorgenommen werden. Ein proaktiver Ansatz setzt voraus, dass die Unsicherheiten analytisch beschrieben und somit auch in Optimierungsmodellen umgesetzt werden können. Diesbezüglich werden bei einwertigen Ansätzen für unsichere Daten sogenannte Ersatzwerte in der Produktionsplanung eingesetzt. Beispielsweise werden anstelle der tatsächlichen Bedarfsmengen und Durchlaufzeiten höhere Werte, die Sicherheitszuschläge enthalten, in der Planung angenommen. Aus der Anwendung dieser Vorgehensweise resultieren Sicherheitsbestände und Reservekapazitäten, die zur Abfederung ungünstiger Umweltentwicklungen genutzt werden können. Bei mehrwertigen Ansätzen werden für unsichere Daten nicht nur eine, sondern verschiedene Ausprägungen in der Produktionsplanung berücksichtigt. Die Modellierung dieser mehrwertigen Umweltzustände kann beispielsweise mittels Zufallsvariablen mit entsprechenden Verteilungsfunktionen oder durch diskrete Szenarien erfolgen (vgl. z.B. Teich et al. 2021). Mehrwertige Ansätze verfolgen das Ziel, eine Planung zu erzeugen, die für verschiedene Umweltentwicklungen ihre Gültigkeit behält (vgl. hierzu weiterführend Scholl 2001, Gebhard 2009, Briskorn und Hartmann 2021).

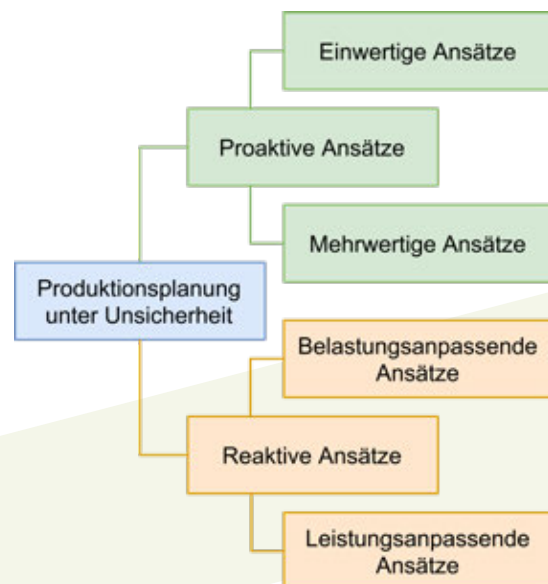


Abb. 1: Einteilung der Ansätze zur Produktionsplanung unter Unsicherheit (Eigene Darstellung)

Vertreter reaktiver Ansätze gehen davon aus, dass Unsicherheiten im Kontext der Produktionsplanung nur unzureichend proaktiv ermittelt und modelliert werden können. Eine kontinuierliche Überprüfung und Anpassung (Aktualisierung) der Produktionsplanung wird daher als notwendig erachtet (rollierende Planung). Kommt es aufgrund einer unerwarteten Umfeldentwicklung (z. B. Maschinenausfall, Nachfragesprung) dazu, dass der bestehende Produktionsplan gegen Kapazitätsrestriktionen verstößt, so wird bei den belastungsanpassenden Ansätzen durch eine vollständige oder teilweise Neuplanung die Kapazitätsnachfrage an das Kapazitätsangebot angepasst (vgl. hierzu weiterführend Teich und Claus 2017). Das bedeutet, dass Produktionsaufträge so verschoben werden, dass die Verletzung der Kapazitätsrestriktion aufgelöst wird. Eine Herausforderung dieser Vorgehensweise besteht darin, die Planungsnerosität, das heißt eine permanente Anpassung der Planung, zu begrenzen. Leistungsanpassende Ansätze versuchen, durch Umweltentwicklungen verursachte Restriktionsverletzungen in der Produktionsplanung durch eine Veränderung des Kapazitätsangebots aufzulösen. Hierbei werden beispielsweise durch den Einsatz von Simulationsverfahren die Auswirkungen temporärer Schichtmodellanpassungen oder anteiliger Fremdfertigung systematisch untersucht. Die Ergebnisse dieser Simulationsuntersuchungen dienen dann als Datengrundlage für die Anpassung der bestehenden Produktionsplanung an die veränderten Rahmenbedingungen.

Literatur

- Almeder, C.; Traxler, R. (2021): Das mehrstufige kapazitierte Losgrößenproblem. In: Claus, T.; Herrmann, F.; Manitz, M. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung – Forschungsansätze, Methoden und deren Anwendungen. 2. Auflage, Berlin: Springer Gabler, S. 111-132.
- Briskorn, D.; Hartmann, S. (2021): Anwendungen des Resource-Constrained Project Scheduling Problem in der Produktionsplanung. In: Claus, T.; Herrmann, F.; Manitz, M. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung – Forschungsansätze, Methoden und deren Anwendungen. 2. Auflage, Berlin: Springer Gabler, S. 133-157.
- Buzacott, J. A.; Corsten, H.; Gössinger, R.; Schneider, H. M. (2010): Produktionsplanung und -steuerung – Grundlagen, Konzepte und integrative Entwicklungen. München: Oldenbourg.
- Claus, T.; Herrmann, F.; Manitz, M. (2021): Knappe Kapazitäten und Unsicherheit – Analytische Ansätze und Simulation in der Produktionsplanung und -steuerung. In: Claus, T.; Herrmann, F.; Manitz, M. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung – Forschungsansätze, Methoden und deren Anwendungen. 2. Auflage, Berlin: Springer Gabler, S. 3-7.
- Drexl, A.; Fleischmann, B.; Günther, H.-O.; Stadler, H.; Tempelmeier, H. (1994): Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Jg. 46, Nr. 12, S. 1022-1045.
- Gebhard, M. (2009): Hierarchische Produktionsplanung bei Unsicherheit. Wiesbaden: Gabler.
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2016): Produktion und Logistik – Supply Chain und Operations Management. 12., verbesserte Auflage, Norderstedt: Books on Demand.
- Herrmann, F.; Manitz, M. (2021): Ein hierarchisches Planungskonzept zur operativen Produktionsplanung und -steuerung. In: Claus, T.; Herrmann, F.; Manitz, M. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung – Forschungsansätze, Methoden und deren Anwendungen. 2. Auflage, Berlin: Springer Gabler, S. 9-25.
- Klein, R.; Scholl, A. (2011): Planung und Entscheidung – Konzepte, Modelle und Methoden einer modernen betriebswirtschaftlichen Entscheidungsanalyse. 2. Auflage, München: Vahlen.
- Laux, H.; Gillenkirch, R. M.; Schenk-Mathes, H. Y. (2018): Entscheidungstheorie. 10., aktualisierte und erweiterte Auflage, Berlin: Springer Gabler.
- Scholl, A. (2001): Robuste Planung und Optimierung – Grundlagen, Konzepte und Methoden, Experimentelle Untersuchungen. Heidelberg: Physica.
- Statista. (2017): Wie wichtig ist es Ihnen, dass Sie Ihre Online-Bestellungen innerhalb von 2-3 Werktagen geliefert bekommen? (nach Alter). Hamburg: Statista.
- Teich, E.; Claus, T. (2017): Measurement of Load and Capacity Flexibility in Manufacturing. Global Journal of Flexible Systems Management, Jg. 18, Nr. 4, 291-302.
- Teich, E. (2018): Logistische Positionierung im flexiblen Produktionsumfeld. Göttingen: Cuvillier.
- Teich, E.; Brodhun, C.; Claus, T. (2021): Einsatz der Szenariotechnik in der Produktionsplanung. In: Claus, T.; Herrmann, F.; Manitz, M. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung – Forschungsansätze, Methoden und deren Anwendungen. 2. Auflage, Berlin: Springer Gabler, S. 79-109.