

1 EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind Problemstellungen der mehrstufigen statisch-deterministischen Ablaufplanung bei identischen Maschinenfolgen. Der Ablaufplanung obliegt in diesem Kontext die Bestimmung der Reihenfolge, in der ein gegebener Auftragsbestand mit bekannten und sicheren Bearbeitungszeiten einen gegebenen Maschinenbestand in identischer technologischer Abfolge zu durchlaufen hat. Die zu lösenden Entscheidungsprobleme werden durch zwei wesentliche Aspekte geprägt. Zum einen hat sich die Ablaufplanung an den Zielvorstellungen der betrachteten Unternehmung zu orientieren, zum anderen sind angesichts kurzfristiger Umsetzungshorizonte Wege zu finden, die entstehenden Probleme in angemessener Zeit zu lösen.

Hinsichtlich des ersten Aspektes kann festgestellt werden, dass sich die Literatur zur Ablaufplanung weniger der Abstimmung ablaufplanerischer Zielvorschriften mit den Unternehmenszielen als vielmehr der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den in der Ablaufplanung eingesetzten Zielvorschriften widmet.¹ Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass die grundsätzliche Schwierigkeit einer Abbildung der Auswirkungen von Ablaufplanungsentscheidungen auf erfolgsorientierte Unternehmensziele betont wird und vornehmlich solche zeitorientierte Ersatzziele betrachtet werden, denen entsprechende Auswirkungen auf die Unternehmensziele unterstellt werden.²

Mit Blick auf den zweiten genannten Aspekt ist festzustellen, dass die Komplexität der betrachteten Problemstellungen den Einsatz optimieren-

¹ Vgl. Troßmann, E. [1996], Sp. 13-14; Paulik, R. [1984], S. 10.

² Vgl. Corsten, H. [2004], S. 490-491; Bloech, J. / Bogaschewsky, R. / Götze, U. / Roland, F. [2004], S. 283; Küpper, H.-U. / Helber, S. [2004], S. 214; Siedentopf, J. [2002], S. 48; Hansmann, K.-W. [2001], S. 415; Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 251; Schultz, J. [1999], S. 17; Adam, D. [1998], S. 548; Blohm, H. / Beer, T. / Seidenberg, U. / Silber, H. [1997], S. 331; Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 26; Vahrenkamp, R. [1996], S. 159; Brüggemann, W. [1995], S. 41; Daub, A. [1994], S. 67-68; Hoitsch, H.-J. [1993], S. 427; Seelbach, H. [1993], Sp. 6; Paulik, R. [1984], S. 88-89; Zäpfel, G. [1982], S. 248; Baker, K.R. [1974], S. 5.

der Lösungsverfahren praktisch unmöglich macht und zur Entwicklung entsprechender Heuristiken geführt hat. Letztere lösen die betrachteten Reihenfolgeprobleme zwar nicht optimal, dafür aber mit praktikabler Geschwindigkeit. Als grundsätzlich gut geeignete Lösungsstrategie hat sich hierbei die Verwendung statisch-globaler Prioritätsregeln zur Generierung von Ausgangslösungen und deren anschließende iterative Verbesserung im Rahmen sogenannter Verbesserungsverfahren erwiesen. Eine Analyse der Literatur verdeutlicht allerdings, dass die besten bekannten Verbesserungsverfahren über keine Mechanismen zur Steuerung des Lösungsprozesses verfügen, sondern ohne eine vorherige Abwägung nach vergleichsweise rigiden Regeln von der jeweils aktuellen zu einer der benachbarten Lösungen springen. Sie zeichnen sich weiterhin dadurch aus, dass sie nicht durch eine Analyse der Eigenschaften des zu lösenden Entscheidungsproblem es motiviert werden, sondern allgemeine heuristische Lösungsprinzipien zur Anwendung bringen.

Ausgehend von der oben skizzierten Herangehensweise an die betrachteten Problemstellungen besteht die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit darin,

- für noch näher zu spezifizierende Ablaufplanungssituationen operationale Zielvorschriften abzuleiten, deren Verfolgung die Unternehmensziele jeweils bestmöglich unterstützt und
- eine Verfahrenskonzeption zur Anwendung auf die betrachteten Problemstellungen zu entwickeln, welche einer analytisch begründeten Strategie zur Ansteuerung solcher benachbarter Lösungen folgt, die am ehesten eine Verbesserung des jeweils aktuellen Zielfunktionsniveaus erwarten lassen.

Zur Erreichung dieser Ziele bedient sich die vorliegende Arbeit der im Folgenden beschriebenen Vorgehensweise.

1.2 GANG DER UNTERSUCHUNG

Gegenstand des **zweiten Kapitels** ist die Einordnung der Ablaufplanung in den Prozess der operativen Produktionsplanung sowie eine Vorstellung und Erörterung der im Hinblick auf die zu untersuchende Entscheidungssituation getroffenen Annahmen.

Im Rahmen des **dritten Kapitels** werden dann die grundsätzlich für Ablaufplanungsentscheidungen relevanten Kosten erörtert und mit Rückgriff auf die im zweiten Kapitel dargelegten Prämissen die Kosten der Kapitalbindung als einzig verbleibende tatsächlich durch Reihenfolgeentscheidungen zu beeinflussende und damit relevante Kosten herausgearbeitet. Es schließen sich Überlegungen zu den Determinanten der Kapitalbindungskosten im Kontext der Ablaufplanung sowie zu ihrer Ermittlung an. Wiederum mit Rückgriff auf die Annahmen der zugrunde liegenden Ablaufplanungssituation wird gezeigt, dass die durch die Fertigstellung der Aufträge erzielbaren Einzahlungen die einzig beeinflussbare Kapitalbindungskostenkomponente darstellen. In Abhängigkeit von den Bedingungen einer Freisetzung des in den Aufträgen gebundenen Kapitals wird dann untersucht, welche operationalen Zielvorschriften zu einer Minimierung der Kapitalbindungskosten im Rahmen von Ablaufplanungsentscheidungen führen. Als Gegenstand der weiteren Untersuchungen ergeben sich hierbei die Zielsetzungen „Minimierung der Summe der gewichteten Durchlaufzeiten“ und „Minimierung der Summe der Durchlaufzeiten“.

Das **vierte Kapitel** widmet sich den Möglichkeiten zur Lösung der im Rahmen der vorangegangenen Kapitel abgeleiteten Entscheidungsprobleme. Hierzu erfolgt zunächst deren formale Abbildung sowie eine Diskussion exakter Lösungsverfahren. Aufgrund des großen zeitlichen Aufwandes zur Ermittlung optimaler Lösungen schließt sich eine eingehende Betrachtung heuristischer Lösungsverfahren an. Hierbei werden Eröffnungs- und Verbesserungsverfahren sowie Kriterien zur Beurteilung der Güte von Heuristiken diskutiert. Ein durchgehendes

Beispiel illustriert die vorgestellten Verfahren. Im Anschluss erfolgt eine vorläufige Beurteilung der vorgestellten Lösungsverfahren auf der Basis komplexitätstheoretischer Überlegungen zum einen sowie der Ergebnisse veröffentlichter numerischer Untersuchungen zum anderen.

Zur Schaffung der Grundlagen für ein Verbesserungsverfahren, dessen Lösungsprozess durch eine Bewertung benachbarter Auftragsreihenfolgen hinsichtlich ihres Potenziales zur Verbesserung der jeweils aktuellen Auftragsreihenfolge gesteuert wird, erfolgt im Rahmen des **fünften Kapitels** eine Untersuchung der Einflussgrößen auf das Risiko einer im Verhältnis zur optimalen Lösung fehlerhaften Anordnung zweigliedriger Teilreihenfolgen bei der Verwendung statisch-globaler Prioritätsregeln. Hierbei werden das Verhältnis zwischen den korrespondierenden Prioritätswerten, die Eignung der verwendeten Prioritätsregel im Hinblick auf die vorliegende Ablaufplanungssituation sowie die Anordnung vorausgehender Aufträge untersucht. Die Kenntnis der Determinanten des Fehl-anordnungsrisikos liefert dann die Ansatzpunkte für eine grundsätzliche Lösungskonzeption, welche im weiteren Verlauf des fünften Kapitels in verschiedenen Ausprägungen konkretisiert wird. In ihren Grundzügen ist sie dadurch gekennzeichnet, dass jeweils dasjenige der noch nicht untersuchten Auftragspaare vertauscht wird, welches das geringste maximale Verhältnis der korrespondierenden Prioritätswerte aufweist. Darüber hinaus wird ein Auftragspaar grundsätzlich immer dann neuerlich als zu untersuchen eingestuft, wenn sich die Anordnung der ihm in der Auftragsfolge vorausgehenden Aufträge verändert hat.

Im Rahmen des **sechsten Kapitels** erfolgt eine eingehende Untersuchung zur Beurteilung der Lösungsgüte und des Berechnungsaufwandes der vorgestellten und der im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Verfahren in Form entsprechender Simulationsstudien.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick im **siebten Kapitel**.

2 DIE BETRACHTETE ENTSCHEIDUNGSSITUATION

2.1 EINORDNUNG

Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit ist die sogenannte Ablaufplanung im engeren Sinne. Sie beinhaltet die Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge eines zu fertigenden Auftragsbestandes auf den zur Verfügung stehenden Arbeitssystemen und die Bestimmung der entsprechenden Einplanungs- und Fertigstellungstermine.¹ Arbeitssysteme verkörpern hierbei die kleinsten arbeitsfähigen Kombinationen von Maschinen, Werkzeugen und Arbeitskräften zum Zwecke der betrieblichen Leistungserstellung.² Vereinfachend wird daher häufig auch von der Maschinenbelegungsplanung gesprochen.³

Die Ablaufplanung im engeren Sinne ist Bestandteil der Ablaufplanung im weiteren Sinne, die auch als Produktionsprozessplanung bezeichnet wird und darüber hinaus die Losgrößenplanung sowie die Durchlauf- und Kapazitätsterminierung umfasst.⁴

Die Produktionsprozessplanung wiederum ist Bestandteil der operativen Produktionsplanung, welche neben der Produktionsprozessplanung die

¹ Vgl. Küpper, H.-U. / Helber, S. [2004], S. 213; Gupta, J.N.D. [2002], S. 107-108; Jahnke, H. / Biskup, D. [1999], S. 228; Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 16; French, S. [1982], S. 26; Ashour, S. [1972], S. 7-8.

Der Ablaufplanungs-begriff wird in der Literatur nicht einheitlich verwendet. Eine ausführliche Diskussion hierzu findet sich bei Siedentopf, J. [2002], S. 4-9.

² Vgl. Günther, H.-O. / Tempelmeier, H. [2005], S. 13; Steffen, R. [1996], Sp. 27.

Als Aufträge sollen hierbei diejenigen Objekte verstanden werden, die eine Bearbeitung durch die zur Verfügung stehenden Arbeitssysteme nachfragen, vgl. Haupt, R. [2000], S. 9.

³ Vgl. Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 103; Jahnke, H. / Biskup, D. [1999], S. 228.

Weitere in der Literatur verwendete Begriffe lauten „Feinterminierung“, vgl. Bloech, J. / Bogaschewsky, R. / Götze, U. / Roland, F. [2004], S. 122; Kurbel, K. [2003], S. 165-166; Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 30; Glaser, H. / Geiger, W. / Rohde, V. [1992], S. 183; Reichwald, R. / Dietel, B. [1991], S. 537; Zäpfel, G. [1982], S. 248 bzw. „Feinplanung“, vgl. Günther, H.-O. / Tempelmeier, H. [2005], S. 223-224; Neumann, K. [1996], S. 7.

⁴ Vgl. Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 15-16 und S. 29.

Produktionsprogrammplanung und die Bereitstellungsplanung umfasst.⁵ Als operativ werden im Rahmen der Produktionsplanung solche Entscheidungen bezeichnet, die auf der Basis vorhandener Betriebsmittel getroffen werden.⁶ Die operative Produktionsplanung wird auch als Prozesssteuerung bezeichnet und damit von der Prozessplanung im Sinne einer taktischen Produktionsplanung abgegrenzt.⁷

Die Problemstellung der Ablaufplanung im engeren Sinne ist die Folge des planerischen Umgangs mit den Verflechtungen zwischen den genannten Teilbereichen der operativen Produktionsplanung.⁸ Die Unterscheidung in Teilbereiche ist letztlich Ausdruck der Komplexität der zugrunde liegenden Problemstellung und dient der gedanklichen Strukturierung eines grundsätzlich simultan zu betrachtenden Planungsproblems.⁹ Da eine simultane Abstimmung der Teilbereiche an der Komplexität und den Datenanforderungen der entstehenden Entscheidungsmodelle scheitert, wird das Gesamtproblem in Teilprobleme zerlegt.¹⁰ Die sukzessive

⁵ Vgl. Bloech, J. / Bogaschewsky, R. / Götze, U. / Roland, F. [2004], S. 116; Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 3; Adam, D. [1998], S. 117; Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 9; Gutenberg, E. [1983], S. 149.

⁶ Vgl. Schneeweiß, C. [2002], S. 23. Als Betriebsmittel werden hierbei die zur Produktionsdurchführung notwendigen apparativen Ausstattungen bezeichnet, vgl. Schneeweiß, C. [2002], S. 22.

⁷ Vgl. Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 7. Die taktische Produktionsplanung setzt hierbei den Rahmen für die operative Produktionsplanung, vgl. Corsten, H. [2004], S. 24; Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 7.

Zur Abgrenzung zwischen strategischer, taktischer und operativer Produktionsplanung vgl. Günther, H.-O. / Tempelmeier, H. [2005], S. 27; Corsten, H. [2004], S. 23-27; Hax, A.C. / Candea, D. [1985], S. 3-6.

⁸ Zu einer ausführlichen Darstellung der Interdependenzen zwischen den Teilbereichen der Produktionsplanung siehe Adam, D. [1990], S. 679-683 und insbesondere Zäpfel, G. [1982], S. 290-296.

⁹ Vgl. Adam, D. [1998], S. 124; Gutenberg, E. [1983], S. 149.

¹⁰ Vgl. Bloech, J. / Bogaschewsky, R. / Götze, U. / Roland, F. [2004], S. 118; Jahnke, H. / Biskup, D. [1999], S. 49; Adam, D. [1998], S. 124-125; Kramer, D. [1994], S. 39.

So existieren zwar sogenannte „monolithische“ Modelle zur integrierten operativen Produktionsplanung, vgl. etwa die Übersichten bei Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 190-206; Küpper, H.-U. [1982], S. 209-212, jedoch liegt ihre Bedeutung darin, die grundsätzliche Notwendigkeit einer simultanen Abstimmung der Teilbereiche der operativen Produktionsplanung zu verdeutlichen. Eine Lösung ist für praxisrelevante Problemgrößen aufgrund der Komplexität der entstehenden Modelle und der Schwierigkeiten bei der Ermittlung der relevanten Eingangsgrößen nicht möglich, vgl. Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 207; Zäpfel, G. [1982], S. 298 und S. 303; Küpper, H.-U. [1982], S. 212.

Lösung erfolgt dabei so, dass der Detaillierungsgrad aufeinanderfolgender Teilprobleme zunimmt und die zeitliche Reichweite aufeinanderfolgender Teilprobleme abnimmt.¹¹

Der Prozess der operativen Produktionsplanung beginnt mit der Produktionsprogrammplanung, welche Art, Menge und Termine der zu fertigenden Produkte festlegt.¹² Es schließt sich die Bereitstellungsplanung an, die für eine erste Teilperiode des Planungszeitraumes der Produktionsprogrammplanung sicherstellt, dass die für die Herstellung des Produktionsprogrammes benötigten Einsatzfaktoren in ausreichender Quantität und Qualität zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung stehen.¹³ An die Bereitstellungsplanung schließt sich die Produktionsprozessplanung an, welche die Planung des eigentlichen Produktionsvollzugs in zeitlicher, mengenmäßiger und räumlicher Hinsicht zum Gegenstand hat.¹⁴

Die Produktionsprozessplanung selbst wird in analoger Weise zerlegt. Sie beginnt im Rahmen der Losgrößenplanung mit der Zusammenfassung einzelner Fertigungsaufträge zu Fertigungslosen und vernachlässigt dabei

Gelegentlich werden auch die in der Praxis anzutreffenden dezentralisierten Planungsgewohnheiten als Grund für eine mangelnde Anwendbarkeit angeführt, vgl. etwa Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 207-208; Zäpfel, G. [1982], S. 303. Da diese Planungsprozesse jedoch gerade aus der Komplexität des gesamthaft zu lösenden Planungsproblems entstanden sind, stellen sie kein eigenständiges Anwendungshindernis dar.

¹¹ Als theoretischer Rahmen für die geeignete Zerlegung des Aufgabenfeldes der operativen Produktionsplanung und die angemessene Berücksichtigung der weiterhin bestehenden Interdependenzen dient die sogenannte Hierarchische Produktionsplanung, vgl. hierzu Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 209-237; Jahnke, H. / Biskup, D. [1999], S. 61-68; Steven, M. [1994]; Hax, A.C. / Candea, D. [1985], S. 393-464; Zäpfel, G. [1982], S. 308-312.

¹² Vgl. Günther, H.-O. / Tempelmeier, H. [2005], S. 141; Bloech, J. / Bogaschewsky, R. / Götze, U. / Roland, F. [2004], S. 125; Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 192; Reichwald, R. / Dietel, B. [1991], S. 481; Jacob, H. [1990], S. 407.

¹³ Vgl. Bloech, J. / Bogaschewsky, R. / Götze, U. / Roland, F. [2004], S. 176; Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 10; Gutenberg, E. [1983], S. 171; Siegel, T. [1974], S. 14.

Zu den hierbei zum Einsatz kommenden Methoden vgl. Reichwald, R. / Dietel, B. [1991], S. 491-536.

¹⁴ Vgl. Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 15; Fandel, G. [1994], S. 19; Zäpfel, G. [1982], S. 185.

zunächst deren zeitliche Durchführbarkeit.¹⁵ Es schließt sich die Durchlauf- und Kapazitätsterminierung an, welche zunächst im Rahmen der Durchlaufterminierung ohne die Berücksichtigung möglicher Kapazitätsbeschränkungen versucht, die ermittelten Lose so einzuplanen, dass die in der Bereitstellungsplanung ermittelten Fertigstellungstermine eingehalten werden können.¹⁶ Im Rahmen der Kapazitätsterminierung finden dann Instrumente zum Abgleich der resultierenden Kapazitätsnachfrage mit dem vorhandenen Kapazitätsangebot Anwendung.¹⁷ Den Abschluss des operativen Produktionsplanungsprozesses bildet die Ablaufplanung im engeren Sinne.¹⁸ Ihr obliegt es, freigegebene¹⁹ Aufträge tages-, schicht-, stunden- oder sogar minutengenau auf den zur Verfügung stehenden Arbeitssystemen einzuplanen.²⁰ Die Überwachung der Einhaltung der hierbei ermittelten Pläne und die Veranlassung notwendiger Anpassungsmaßnahmen erfolgt im Rahmen der nachgelagerten Produktionsprozessüberwachung bzw. Produktionskontrolle.²¹

¹⁵ Vgl. Jahnke, H. / Biskup, D. [1999], S. 72-73; Reichwald, R. / Dietel, B. [1991], S. 536-537.

¹⁶ Vgl. Günther, H.-O. / Tempelmeier, H. [2005], S. 210; Corsten, H. [2004], S. 480-481; Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 16; Glaser, H. / Geiger, W. / Rohde, V. [1992], S. 140-149; Reichwald, R. / Dietel, B. [1991], S. 541; Wiendahl, H.-P. [1987], S. 28-29.

¹⁷ Vgl. Günther, H.-O. / Tempelmeier, H. [2005], S. 210 und S. 216-217; Corsten, H. [2004], S. 484-487; Hansmann, K.-W. [2001], S. 400-404; Jahnke, H. / Biskup, D. [1999], S. 178-180; Glaser, H. / Geiger, W. / Rohde, V. [1992], S. 177-182; Reichwald, R. / Dietel, B. [1991], S. 546; Wiendahl, H.-P. [1987], S. 29.

¹⁸ Vgl. Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 16.

Die Ablaufplanung im engeren Sinne wird häufig auch der Produktionssteuerung zugeordnet, vgl. Schneeweiß, C. [2002], S. 259; Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 16; Reichwald, R. / Dietel, B. [1991], S. 537.

¹⁹ Zum Prozedere der Auftragsfreigabe vgl. Kurbel, K. [2003], S. 163-165; Schneeweiß, C. [2002], S. 257-259; Hansmann, K.-W. [2001], S. 407-408.

Die Auftragsfreigabe setzt insbesondere eine abgeschlossene Verfügbarkeitsprüfung hinsichtlich der zur Auftragsbearbeitung benötigten Werkzeuge und Materialien voraus, vgl. Jahnke, H. / Biskup, D. [1999], S. 180; Zahn, E. / Schmid, U. [1996], S. 517; Glaser, H. / Geiger, W. / Rohde, H. [1992], S. 183.

²⁰ Vgl. Günther, H.-O. / Tempelmeier, H. [2005], S. 223-224; Schneeweiß, C. [2002], S. 259; Jahnke, H. / Biskup, D. [1999], S. 180; Fandel, G. / Francois, P. / Gubitz, K.-M. [1997], S. 370; Drexler, A. [1996], Sp. 2051; Glaser, H. / Geiger, W. / Rohde, V. [1992], S. 183.

²¹ Vgl. Schneeweiß, C. [2002], S. 274; Kistner, K.-P. / Steven, M. [2001], S. 7; Zäpfel, G. [1982], S. 281-287; Hoitsch, H.-J. [1993], S. 424.

Die nachfolgende Abbildung soll die angesprochenen Planungszusammenhänge innerhalb der operativen Produktionsplanung verdeutlichen:

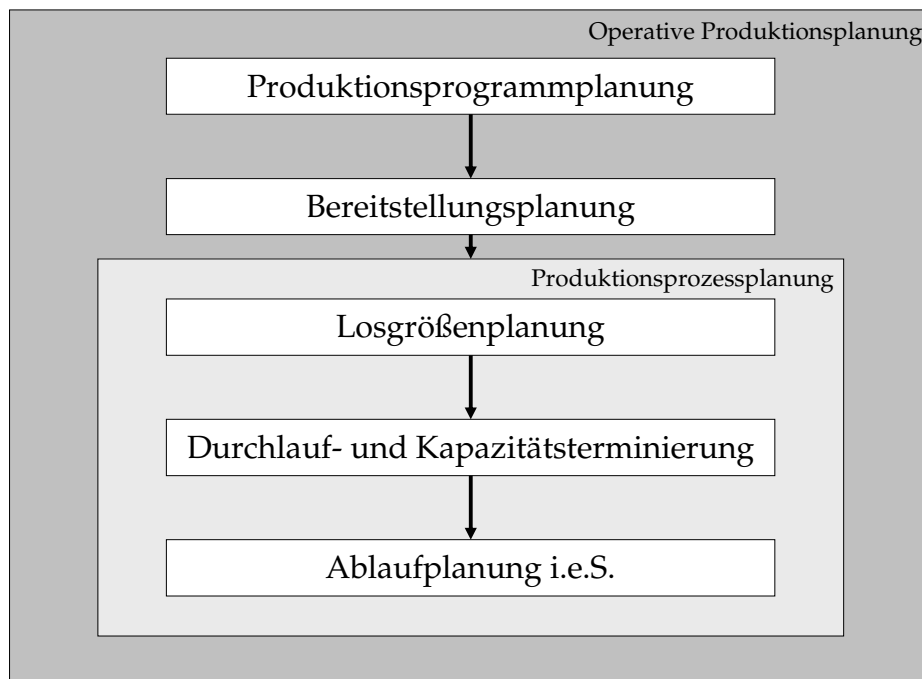


Abb. 2.1: Teilbereiche der operativen Produktionsplanung²²

Welche Ablaufplanungssituation dieser Arbeit im Einzelnen zugrunde liegt, wird im nun folgenden Abschnitt erläutert.²³

2.2 PRÄMISSEN

Man unterscheidet Ablaufplanungsprobleme im engeren Sinne mit Hilfe der sogenannten Tripel-Klassifikation $\alpha/\beta/\gamma$ hinsichtlich ihrer

- Maschinencharakteristika (α),
- Auftragscharakteristika (β) und
- Optimalitätskriterien (γ).²⁴

²² Quelle: eigene Darstellung.

²³ Eine Übersicht zur Vielfalt möglicher ablaufplanerischer Entscheidungssituationen findet sich beispielsweise bei Troßmann, E. [1996], Sp. 15-18.

²⁴ Vgl. hierzu insbesondere Graham, R.L. / Lawler, E.L. / Lenstra, J.K. / Rinnooy Kan, A.H.G. [1979], S. 288-290 und Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. [1997], S. 283-299 sowie Brucker, P. [2004], S. 3-10; Lawler, E.L. / Lenstra, J.K. / Rinnooy Kan A.H.G. / Shmoys, D.B. [1993], S. 450-452.

Die Ausgestaltung der Unterkomponenten der drei Hauptkriterien erfolgt hierbei von Autor zu Autor unterschiedlich, vgl. Troßmann, E. [1996], Sp. 17-18.