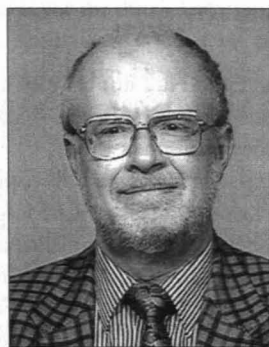


Dieser Artikel stellt einen neuen Lösungsansatz für die bekannte Problematik einer Kapazitätsdimensionierung und -belegung mit gleichzeitiger Losgrößen- und Reihenfolgeoptimierung vor. Bei kombinierten Problemstellungen müssen, um zu einer optimalen Lösung zu kommen, alle zu optimierenden Parameter gleichzeitig betrachtet werden, was mit herkömmlichen Verfahren und Rechnerkapazitäten bisher nur für kleine Modellfälle lösbar war. Das vorgestellte Lösungsverfahren ist im Unterschied zu vielen aus der Literatur bekannten Verfahren für realistische Problemgrößen (über 100 Produkte) anwendbar.



DIETER BIBERSCHICK

*Dipl.-Ing. Dr. techn.,
Univ.-Prof., Vorstand des
Instituts für
Betriebswissenschaften,
an der Technischen
Universität Wien.*



KURT MATYAS

*Dipl.-Ing. Dr. techn., Jahrgang
1963, Studium des
Maschinenbaus (Studienzweig
Betriebswissenschaften) an der
TU Wien, Sponion 1989,
Promotion 1992; seit 1989
Universitätsassistent am
Institut für Betriebs-
wissenschaften an der
Technischen Universität Wien.*

GANZHEITLICHE LÖSUNG EINES KOMBINIERTEN PRODUKTIONSPLANUNGS- PROBLEMS

DIE NOTWENDIGKEIT, IN GANZHEITLICHEN LÖSUNGEN ZU DENKEN

In Zeiten der Rezession ist es besonders wichtig, die Ressourcen des Unternehmens möglichst sparsam und optimal einzusetzen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Lösungen im Produktionsplanungs- und -steuerungsbereich dürfen keine Aneinanderreihung von sogenannten „Insellösungen“ sein, die nur innerhalb kleiner und vordefinierter Bereiche nach Lösungen suchen, sondern müssen alle Aspekte gleichzeitig („simultan“) berücksichtigen, da eine Veränderung eines Teilbereichs alle anderen Bereiche mitbeeinflussen würde. Solche „Gesamtmodelle“ haben in der Regel den Nachteil, daß sie nur für praxisfremd kleine Problemgrößen anwendbar sind. Selbst Methoden des „Operations Research“ kommen in solchen Fällen aufgrund der notwendigen hohen Anzahl von Variablen und Nebenbedingungen nicht in Frage. Eine Möglichkeit, trotzdem zu guten Ergebnissen zu kommen, ist der Einsatz von Heuristiken, die keine absoluten Optima, sondern suboptimale Lösungen anstreben. Sie sind Handlungsvorschriften, die festlegen, welches Verhalten in welcher Art von Situation anzuwenden ist, um aus einer Anzahl möglicher Alternativen eine günstige auszuwählen. In der Betriebsplanung findet man heuristische Verfahren vor allem im Zusammenhang mit räumlichen oder zeitlichen Problemstellungen.

PROBLEMSTELLUNG

Eine Fertigung von etwa 100 verschiedenen Produkten mit unterschiedlichen saisonalen Bedarfsverläufen in großen Stückzahlen (insgesamt ca. 15.000 Stück täglich) ist der Ausgangspunkt für die Entwicklung des Optimierungsverfahrens. Es sind 140 gleichwertige Maschinen vorhanden, auf welchen theoretisch jedes der 100 Produkte gefertigt werden kann. Es wird lediglich eine entsprechende Form für jedes Produkt benötigt. Wieviel Stück eines Produktes gleichzeitig produziert werden können, hängt somit von der Formenzahl je Produkt ab.

Welche Produkte wann produziert werden sollen, hängt in erster Linie davon ab, bei welcher Kapazitätsbelegungsvariante die Gesamtkosten minimal sind. Die beeinflussbaren Anteile an den Gesamtkosten sind

- Rüstkosten
- Kapital- (Lager-) kosten und
- Kapazitätskosten (Anschaffungskosten neuer Formen sowie deren laufende Kosten).

Bei der Kostenermittlung sind unterschiedliche Deckungsbeiträge und Herstellkosten zu berücksichtigen, da bei der Losgrößenplanung die bei Umrüstvorgängen entgangenen Deckungsbeiträge berücksichtigt werden müssen, und bei Entscheidungen, bei welchen Produkten auf Lager oder „Just-In-Time“ produziert werden soll,

die unterschiedlichen Kapitalkosten die Reihenfolgeplanung mitbeeinflussen.

Folgende Fragen müssen beantwortet werden:

- Wieviel Kapazität (Formen) soll(en) beschafft werden ?
- Zu welchen Zeitpunkten soll die Produktion der verschiedenen Produkte beginnen?
- Wieviel Stück sollen auf der jeweiligen Maschine ohne Unterbrechung hergestellt werden?

Diese drei Fragen betreffend Kapazitätsdimensionierung, Reihenfolgen und Losgrößen bilden eine kombinierte Problemstellung. Zwar wäre jede der drei oben angeführten Fragen für sich zu beantworten (z.B. diverse Losgrößenformeln, Reihenfolgeplanung), es könnten so jedoch lediglich Teiloptima gefunden werden, da einerseits die Dimensionierung der Kapazität von der späteren Belegung abhängig ist und andererseits die Kapazitätsbelegungsplanung nicht von der Kapazitätsdimensionierung losgelöst betrachtet werden kann. Leider ist aber eine kombinierte Betrachtungsweise nur für kleine Modellfälle rechenbar, da der kombinatorisch entstehende Lösungsraum des konkreten Planungsproblems über die Möglichkeiten aller bisher bekannter Lösungsverfahren, Rechenmodelle oder Computerprogramme hinausgeht. Nachfolgend werden die Optimierungsschritte an Beispielen eines vereinfachten Modells erläutert.

1. ERFASSUNG DES VORAUSSICHTLICHEN JAHRESBEDARFS UND DES SAISONVERLAUFS ALLER PRODUKTE

Bei typischen Saisonprodukten sind die saisonalen Bedarfsverläufe von Sommer- und Winterprodukten in der Regel gegensätzlich. Die voraussichtlichen Bedarfsverläufe für die unterschiedlichen Produkte können aufgrund der Daten aus der Vergangenheit relativ genau vorhergesagt werden. Das Modell basiert auf der Tatsache eines langfristig vorhersehbaren Absatzverlaufes. An einem gegenüber der Praxis vereinfachten Modellbeispiel (zur übersichtlicheren Darstellbarkeit) werden 3 Produkte mit vorwiegender Nachfrage im Winter und drei Produkte, die hauptsächlich

Monat Produkt\	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
P1	0	2	4	5	6	4	2	1	0	0	0	0	24
P2	2	1	0	0	0	0	1	2	3	5	6	4	24
P3	1	2	3	4	5	3	3	2	1	0	0	0	24
P4	2	2	0	0	0	0	0	3	4	6	4	3	24
P5	1	3	4	6	4	3	2	1	0	0	0	0	24
P6	2	2	0	0	0	0	0	3	4	6	4	3	24

BILD 1: BEDARFSVERLÄUFE FÜR DIE 6 BETRACHTETEN PRODUKTE

im Sommer verkauft werden, betrachtet (Bild 1).

2. BESTIMMUNG EINER MINIMALKAPAZITÄT UND EINER SINNVOLLEN MAXIMALKAPAZITÄT JE PRODUKT

Die Minimalkapazität ist diejenige Anzahl an Formen, bei der eine vollkommene Emanzipation der Produktion vom Bedarfsverlauf gegeben ist. Das bedeutet, daß das ganze Jahr über konstant so viele Produkte einer Art erzeugt werden, daß in Summe der Jahresbedarf produziert werden kann. Alle auftretenden Bedarfsschwankungen werden ausschließlich durch das Lager ausgeglichen.

Die Berechnung der Minimalkapazität erfolgt für jedes Produkt gesondert. Wenn keine Fehlmenen auftreten, muß der Lagerstand zumindest einmal je Produkt innerhalb eines Jahres Null sein. Daher kann auch nicht von einem einheitlichen Beginn oder Ende des Planungszeitraums gesprochen werden, da der einmalig auftretende

Lagerstand von Null nur bei gleichartigen Saisonsgütern und ähnlichen Bedarfsverläufen übereinstimmen wird.

Da für das vereinfachte Fallbeispiel Produkte mit gleichem Jahresbedarf ausgewählt wurden, betragen die Minimalkapazitäten für die im vorigen Schritt angegebenen Bedarfsverläufe für alle Produkte 2 Formen. Es wird vereinfachend angenommen, daß auf einer Maschine in einem Monat genau ein Stück produziert wird und die Kapazitätsbelegung innerhalb dieser Teilperiode nicht geändert werden kann.

Der Extremfall einer Produktion mit maximaler Formenzahl und minimalem Lagerstand ist in Bild 2 zu erkennen. Dabei muß jedoch ein Belastungsabgleich erfolgen, da sonst die Gesamtkapazität überschritten würde.

3. BERECHNUNG DER BEINFLUSSBAREN KOSTEN BEI MINIMAL- UND MAXIMALKAPAZITÄT

In der Folge soll der Rahmen der durch eine Änderung der Kapazitätsbelegungen

Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Maschine												
M1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P4	P2	P2
M2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P4	P2	P2
M3	P1	P2	P1	P3	P1	P1	P2	P2	P2	P4	P2	P2
M4	P1	P3	P1	P3	P3	P1	P2	P3	P3	P4	P2	P2
M5	P2	P3	P1	P3	P3	P1	P2	P3	P4	P4	P4	P2
M6	P2	P4	P3	P3	P3	P2	P2	P4	P4	P4	P4	P2
M7	P3	P4	P3	P5	P3	P3	P2	P4	P4	P6	P4	P4
M8	P4	P5	P3	P5	P3	P3	P3	P4	P4	P6	P6	P4
M9	P4	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P6	P6	P6	P4
M10	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6
M11	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6
M12	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6

BILD 2: GRAPHISCHE DARSTELLUNG EINER MÖGLICHEN KAPAZITÄTSBELEGUNG BEI EINER MAXIMALEN FORMENANZAHL JE PRODUKT (NACH EINEM BELASTUNGSABGLEICH)

beeinflussbaren Kosten errechnet werden. Bild 3 zeigt für jedes Produkt die produzierte Menge und darunter den Lagerstand je Monat an. In der Spaltenspalte werden die Stückzahlen der produzierten Artikel sowie die summierten Lagerstände angezeigt. In der Kostenspalte scheinen die anfallenden Kapazitätskosten (Anteilige Anschaffungskosten und laufende Kosten der Formen) sowie die durch Lagerung entstehenden Kapitalkosten (Zinsen) für jedes Produkt auf. In der letzten Spalte werden die Formenauslastungen und die Gesamtkosten je Produkt vermerkt.

Die Kosten werden sowohl für jedes Produkt einzeln als auch als Gesamtlager- und Gesamtkapazitätskosten angegeben. Weiters kann aus den letzten beiden Zeilen der Gesamtlagerstand je Monat und die je Monat produzierten Gesamtstückzahlen herausgelesen werden. Der Gesamtlagerstand kann für etwaige Überlegungen zur Lagerdimensionierung hilfreich sein.

Durch die Gesamtkapazitätsbeschränkung auf 12 Kapazitätseinheiten treten bei den Produkten „P1“ und „P2“ wegen des erforderlichen Belastungsabgleichs trotz Maximalkapazität Lagerkosten auf.

4. VARIATION DER FORMENZAHLEN UND VARIATION DER BEGINNZEITPUNKTE DER BEARBEITUNG

In diesem Schritt der Heuristik wird jedes Produkt isoliert betrachtet, ohne auf andere Produkte Rücksicht zu nehmen.

Zunächst erfolgt eine schrittweise Erhöhung der Formenzahl mit Simulation von unterschiedlichen Beginnzeitpunkten der Bearbeitung für jedes Produkt bis zur errechneten theoretischen Maximalkapazität mit Berechnung der Gesamtkosten je Variante.

Die erste Kapazitätsbelegungsvariante, die im folgenden als Ausgangslösung bezeichnet wird, ist die Produktion mit Minimalkapazität.

Ausgehend von der Ausgangslösung wird nun die Formenzahl von 2 Formen je Produkt auf 4 Formen erhöht, womit die Losgröße halbiert wird. Der Beginnzeitpunkt der Produktion der Lose ist vorläufig Jänner.

Die Kapazitäts-, Kapital- und Gesamtkosten werden auch für diese Variante errechnet, und abgespeichert. Anschließend wird der Beginnzeitpunkt der Produktion mit der aktuellen Losgröße und Formenzahl

variiert und für jede Variante die Gesamtkosten berechnet.

5. AUSWAHL DESJENIGEN PRODUKTES, BEI DEM DIE GRÖßTE KOSTENEINSPARUNG GEGENÜBER DER AUSGANGSSITUATION MÖGLICH IST

In Punkt 4 wurde errechnet, wieviel sich bei jedem Produkt durch Kapazitäts- und Losgrößenvariation einsparen läßt. So konnte beim betrachteten Beispiel durch Verdoppelung der Formenzahl des Produktes 6 und Beginn der Bearbeitung im August eine Absenkung der Gesamtkosten auf 1728 d.h. um 8% gegenüber der Ausgangslösung erreicht werden.

6. BILDUNG VON BELEGUNGSVARIANTEN, DIE ALS KOMPLEMENTÄRVARIANTEN DER IN SCHRITT 5 ERFOLGTEN KAPAZITÄTSBELEGUNGSÄNDERUNG BEZEICHNET WERDEN KÖNNEN

Die in den Schritten 4 und 5 durchgeführte Kapazitätsänderung bewirkt sowohl

Type	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Sum.	Kosten			
Produkt 1:																	
Produktion:	4	2	5	2	3	5	2	1	0	0	0	0	24	250	Formen	0,33	Ausl
Lager:	5	5	6	3	0	1	1	1	1	1	1	1	26	65	Kapital	315	GK
Produkt 2:																	
Produktion:	2	1	0	0	0	1	5	2	3	0	4	6	24	300	Formen	0,33	Ausl
Lager:	2	2	2	2	2	3	7	7	7	2	0	2	38	114	Kapital	414	GK
Produkt 3:																	
Produktion:	1	2	3	4	5	3	3	2	1	0	0	0	24	250	Formen	0,4	Ausl
Lager:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Kapital	350	GK
Produkt 4:																	
Produktion:	2	2	0	0	0	0	0	3	4	6	4	3	24	300	Formen	1	Ausl
Lager:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Kapital	300	GK
Produkt 5:																	
Produktion:	1	3	4	6	4	3	2	1	0	0	0	0	24	300	Formen	0,33	Ausl
Lager:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Kapital	300	GK
Produkt 6:																	
Produktion:	2	2	0	0	0	0	0	3	4	6	4	3	24	300	Formen	0,33	Ausl
Lager:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Kapital	300	GK
Summe:																	
Sum. Lag.	7	7	8	5	2	4	8	8	8	3	1	3	64	1700	Summe		
Sum.	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	144	179	Summe		
Kapazität:															Summe		
														Gesamtkosten	1879		

BILD 3: ERRECHNUNG DER GESAMTKOSTEN BEI EINSATZ EINER REALISTISCHEN MAXIMALKAPAZITÄT JE PRODUKT

M1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1
M2	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1
M3	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1
M4	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1
M5	P5	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P5	P5	P5	P5	P5
M6	P5	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P5	P5	P5	P5	P5
M7	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P6	P6	P6	P6	P6
M8	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P6	P6	P6	P6	P6
M9	P5	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P5	P5	P5	P5	P5
M10	P5	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P5	P5	P5	P5	P5
M11	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P6	P6	P6	P6	P6
M12	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P6	P6	P6	P6	P6
	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez

BILD 4: KAPAZITÄTSBELEGUNG NACH DEM LETZTEN OPTIMIERUNGSSCHRITT

Über- als auch Unterschreitungen der Gesamtkapazität von 12 Maschinen. Beispielsweise werden in den Monaten Februar bis Juli lediglich 10 Kapazitätseinheiten, in den Monaten September bis Jänner dafür 14 benötigt.

Aus dem - beispielsweise - um das Produkt 6 verminderten Lösungsraum müssen nun diejenigen Produkte und dazugehörigen Belegungsvarianten ausgewählt werden, die die gleiche Belegungszeit und die gleiche Losgröße aufweisen und deren Beginn- und Endzeitpunkte der Bearbeitungen einen Kapazitätsabgleich ermöglichen.

Dieser Schritt bewirkt eine weitere Reduzierung der Größe des Lösungsraums, da aufgrund der Notwendigkeit der Übereinstimmung der Bearbeitungszeiten nur eine stark eingeschränkte Anzahl von Produkten mit dieser Belegungsvariante ausgewählt werden kann.

7. AUSWAHL EINES ZWEITEN PRODUKTES, BEI DEM DIE KOSTENREDUKTION AM GRÖSSTEN IST

Bei der im vorigen Schritt beschriebenen Belegung werden bei der Auswahl verschiedener Produkte verschiedene Gesamtkosten auftreten. Schließlich wird jenes Pro-

dukt ausgewählt, bei dem die Kostenreduktion im Vergleich zur Ausgangslösung maximal ist. Wenn mit der ermittelten Variante bei keinem Produkt eine Kosteneinsparung möglich ist, dann wird jenes Produkt ausgewählt, bei dem die Erhöhung der Gesamtkosten minimal ist. Beim vorliegenden Beispiel war die Kostenreduktion bei Auswahl von Produkt 4 als Komplementärprodukt am größten. Somit sind die Produkte 6 und 4 fixiert und werden bei den weiteren Planungsschritten nicht mehr in Frage gestellt.

8. EINPLANUNG DER VERBLEIBENDEN PRODUKTE

Durch die bisherigen sukzessiven Einschränkungen kann die Ermittlung einer (suboptimalen) Lösung mit einem vertretbaren Rechenaufwand durchgeführt werden. Für die so immer weniger werdenden übrigen Produkte werden die Planungsschritte 5 bis 7 so lange wiederholt, bis keine Produkte mehr übrig sind oder die Gesamtkosten nicht mehr gesenkt werden können. Die in Bild 4 gezeigte Lösung ist durch Gesamtkosten von 1614 und damit einer Einsparung von 15% gegenüber der Ausgangslösung gekennzeichnet.

Die Entwicklung eines PC-Programms

zur Errechnung einer Optimalkapazität bei gleichzeitiger Optimierung der Produktionslosgrößen und Bearbeitungsreihenfolgen wurde erst durch die in diesem Programm eingesetzte Planungsheuristik mit seiner, im Gegensatz zu den meisten in der Literatur behandelten theoretischen Verfahren, relativ einfachen und klar definierten Vorgehensweise möglich. Dieses Programm ist im Unterschied zu vielen anderen theoretischen Verfahren auf PCs oder Workstations lauffähig und auf realistische Problemgrößen anwendbar.

Hinweis: Eine ungekürzte Fassung dieses Artikels ist bei den Autoren erhältlich.

LITERATUR:

- [1] FLEISCHMANN, Bernhard: Operations - Research - Modelle und - Verfahren in der Produktionsplanung, in: ZfB 58(1988), S. 347 - 72
- [2] BIBERSCHICK, Dieter; MATYAS Kurt: Grundlagen der Betriebstechnik, Vorlesungsskriptum, TU Wien 1994
- [3] MATYAS, Kurt: Ein kombiniertes Kapazitäts-, Losgrößen- und Reihenfolge-Planungsproblem, Dissertation, TU Wien 1992