

Simulationsbasierte Kapazitätsbedarfsabschätzung in einem Modell der Auftragsfreigabe mit Berücksichtigung von Servicegraden

***Simulation based capacity estimation for a model of order release
planning under the consideration of service levels***

Frederick Lange, Frank Herrmann, HS Regensburg, Regensburg (Germany),
frederick.lange@YMail.com, frank.herrmann@hs-regensburg.de

Thorsten Claus, TU Dresden (IHI Zittau), Zittau (Germany), claus@ihi-zittau.de

Abstract: Clearing Functions describe the nonlinear relationship between the orders which are in process and the output in capacitated production systems under high utilization. These Clearing Function can be derived analytical by using steady-state queuing models or empirical by using simulation. We show how to estimate a Clearing Function for a single-level multi-product production system by using a simulation model. This non-linear Clearing Function is integrated into a model of order release planning. We extend this model to consider the uncertainty of the demand by using a Beta service level. We compare our model with an inventory management policy under different demand conditions.

1 Einführung

In den kommerziell verfügbaren Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen (PPS-Systemen) erfolgt eine Dekomposition des Gesamtplanungsproblems in Teilplanungsprobleme. Diese führt in der Regel zu den Modulen der Produktionsprogrammplanung, Materialbedarfsplanung, mit den Kernkomponenten der Nettobedarfsrechnung und der Losgrößenbildung, sowie der Fertigungssteuerung (Herrmann 2011). Zur Abschätzung des zulässigen Kapazitätsbedarfs in der Materialbedarfsplanung, von diesen in der Industrie eingesetzten PPS-Systemen, dient die Durchlaufzeit. Hierbei wird eine feste Durchlaufzeit zur Terminierung von Produktionsaufträgen (Herrmann 2011) verwendet. Messungen der tatsächlichen Durchlaufzeiten zeigen einen nicht linearen Zusammenhang zwischen der Arbeitslast und der Ausbringungsmenge einer Ressource mit beschränkten Kapazitäten. Analytisch lässt sich dies durch die Warteschlangentheorie begründen. Somit hängt die Durchlaufzeit von der Last im

Produktionssystem ab, welche wiederum durch die Zuweisung von Produktionsaufträgen auf die Ressourcen durch das Planungsmodell bedingt wird.

Unterschiedliche Ansätze integrieren diese Abhängigkeiten zwischen der Durchlaufzeit und der Belastung der Ressourcen in Optimierungsmodellen. Beispielsweise relaxiert Spitter et al. (2005) die Verwendung von Durchlaufzeiten und Voss et al. (2003) integriert die Ressourcenbelastung. Eine Iteration zwischen einem Simulations- und Optimierungsmodell erfolgt z.B. in Kim und Kim (2001).

In einem alternativen Ansatz wird der Zusammenhang zwischen der Arbeitslast im Produktionssystem und der zu erwartenden Ausbringungsmenge durch eine nicht lineare Clearing Function beschrieben. Dieser Ansatz wird in diesem Beitrag verfolgt.

2 Literaturübersicht

In Produktionssystemen mit Kapazitätsbeschränkungen existieren nicht lineare Abhängigkeiten zwischen der Arbeitslast im Produktionssystem und der Ausbringungsmenge des Produktionssystems. Viele Autoren beschrieben diese Abhängigkeiten durch eine sogenannte Clearing Function (CF) (Karmarkar 1989; Missbauer 2002; Asmundsson et al. 2009; Ranvindran et al. 2011, Kacar et al. 2012). Eine CF bestimmt die zu erwartende bzw. maximale Ausbringungsmenge über einen definierten Zeithorizont als eine Funktion in Abhängigkeit zur Arbeitslast im Produktionssystem (Missbauer und Uzsoy (2010)). Diese zugrunde gelegte Arbeitslast wird in der Regel durch den Work-In-Process (WIP) – Bestand beschrieben. In der Literatur werden unterschiedliche Arten solcher CF beschrieben (Abb. 1).

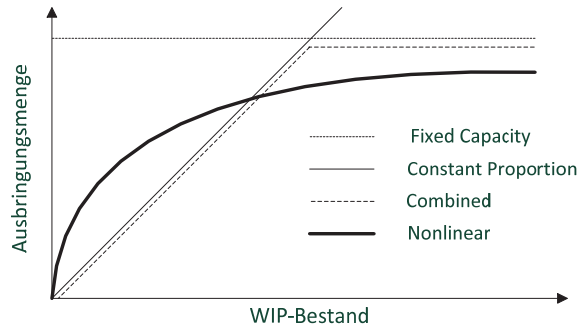


Abbildung 1: Beispiele für Clearing Functions in der Literatur (in Anlehnung an Kacar et al. (2012))

Die CF „Fixed Capacity“ beschreibt eine statische maximale Ausbringungsmenge des Produktionssystems ohne Berücksichtigung des WIP-Bestands. Graves (1986) charakterisiert durch die CF „Constant Proportion“ eine zum WIP-Bestand linear steigende Ausbringungsmenge. Hierdurch wird angenommen, dass, unabhängig vom WIP-Bestand, feste Durchlaufzeiten existieren und eine unendliche Ausbringungsmenge möglich ist. Hopp und Spearman (2001) schlagen daher vor, durch eine obere Grenze die maximale Ausbringungsmenge zu beschränken, was

durch die CF „Combined“ beschrieben ist. In den meisten Entscheidungsmodellen wird eine nicht lineare Kapazitätsrestriktion vermieden, sodass diese linearen CF, wie z.B. die „Combined“, Verwendung finden. Einzig die von Karmarkar (1989) beschriebene CF „Nonlinear“ berücksichtigt die nicht linearen Abhängigkeiten zwischen dem WIP-Bestand und der zu erwartenden Ausbringungsmenge der Ressource bzw. des Produktionssystems.

Um eine solche nicht lineare CF zu erhalten, kann diese analytisch über die Warteschlangentheorie abgeleitet werden. So wird in Asmundsson et al. (2009) der WIP-Bestand in einem G|G|1 Wartesystem durch

$$W = \frac{(c_a^2 + c_s^2)}{2} \cdot \frac{p^2}{(1-p)} + p \quad (1)$$

bestimmt. Hierbei wird die Auslastung der Station durch p und die Variationskoeffizienten der Ankunfts- bzw. der Bedienzeiten durch c_a^2 und c_s^2 beschrieben. Durch Umformung dieser Gleichung nach p erhält man

$$p = \frac{\sqrt{(W+1)^2 + 4 \cdot W \cdot (c-1)} - (W+1)}{2 \cdot (c-1)} \quad \text{mit } c = \frac{c_a^2 + c_s^2}{2} \quad (2)$$

Asmundsson et al. (2009) schlagen vor, die Auslastung p als Ausbringungsmenge zu interpretieren. Für einen festen Wert von c ist ein degressiver Anstieg der Ausbringungsmenge bei steigendem WIP-Bestand W zu verzeichnen. Einen alternativen analytischen Ansatz beschreiben (Missbauer und Uzsoy 2010). Hierbei wird die erwartete Ausbringungsmenge $E(X)$ in Abhängigkeit zu einem erwartenden WIP-Bestand $E(W)$ durch ein M|G|1 Wartesystem wie folgt bestimmt.

$$E(X) = C \cdot \frac{E(W)}{E(W) + k} \quad \text{mit } k = \frac{\mu \cdot \sigma^2}{2} + \frac{1}{2 \cdot \mu} \quad (3)$$

Durch den Parameter C wird hierbei die maximale Kapazität je Periode des Produktionssystems beschrieben. Die Parameter der Verteilungsfunktion der Bearbeitungszeit sind durch den Mittelwert μ und die Streuung σ gegeben.

Bereits in etwas größeren Produktionssystemen treten gegenseitige Beeinflussungen der Ausbringungsmengen zwischen den einzelnen Ressourcen auf, die nicht durch ein einzelnes Warteschlangenmodell, sondern nur durch ein Netzwerk von Warteschlangenmodellen nachgebildet werden können. Sofern diese aufgestellt werden können, dürfte eine Lösung mathematisch sehr aufwendig sein. Alternativ können solche CF auch auf Basis von empirischen Untersuchungen aufgestellt werden. Ein solches Vorgehen ist u.a. in Asmundsson et al. (2009), Kacar und Uzsoy (2010) oder Kacar et al. (2012) beschrieben. Um eine CF zu ermitteln, verwendet Asmundsson et al. (2009) fünf unterschiedliche Bedarfsszenarien und einen Planungshorizont von 70 Perioden. Aus diesen Bedarfsszenarien werden durch das Entscheidungsmodell von Hackman und Leachman (1989), welches feste Durchlaufzeiten verwendet, Produktionspläne erstellt. Für diese unterschiedlichen Bedarfssituationen werden jeweils 50 Simulationsexperimente ($m=50$) durchgeführt

und die Daten der Ausbringungsmenge $x_{t,s}$ sowie die WIP-Bestände $w_{t,s}$ je Periode t und Simulationslauf s gesammelt. Aus diesen Daten werden die Mittelwerte für einen erwarteten WIP-Bestand $E(W_t)$ sowie eine korrespondierende Ausbringungsmenge $E(X_t)$ je Periode t gebildet. Auf Basis dieser Datenpunkte erfolgt die Bildung der CF indem visuell eine Kurve durch die Datenpunkte gezogen wird (Asmundsson et al. 2009). Hierbei handelt es sich um eine Art Ausgleichsgerade.

3 Fallstudie

In unserer Untersuchung wird ein einstufiges Produktionssystem, bestehend aus acht Produkten und fünf Arbeitsstationen, verwendet. Es erfolgt die Berücksichtigung von deterministischen Stückbearbeitungszeiten. Rüstzeiten werden vernachlässigt. Die Daten sind in der nachstehenden Tabelle 1 aufgeführt. Die Bedarfsmuster der einzelnen Produkte unterscheiden sich hierbei. Dies wird nachfolgen näher beschrieben.

Tabelle 1: Stückbearbeitungszeiten je Produkt und Arbeitsstation

Produkt	Arbeitsstationen	Stückbearbeitungszeit
Part01 / Part05	Sägen	40 Sekunden
	Drehen	100 Sekunden
	Fräsen	100 Sekunden
	Schleifen	40 Sekunden
Part02 / Part06	Drehen	150 Sekunden
	Fräsen	100 Sekunden
	Waschen	100 Sekunden
	Schleifen	50 Sekunden
Part03 / Part07	Fräsen	90 Sekunden
	Waschen	80 Sekunden
	Schleifen	100 Sekunden
Part04 / Part08	Drehen	30 Sekunden
	Schleifen	30 Sekunden

Die Länge einer Periode t ist mit 24 Stunden definiert, die verfügbare Kapazität je Periode und Ressource beträgt ebenfalls 24 Stunden

4 Ermittlung einer Clearing Function

Ziel ist es, eine Funktion zu ermitteln, welche zu einem produktspezifischen WIP-Bestand W_k eine zu erwartende Ausbringungsmenge X_k bestimmt ($1 \leq k \leq 8$). Durch Simulation wird die mittlere Ausbringungsmenge des Produktionssystems unter einen im Zeitverlauf konstanten WIP-Bestand gemessen. Um statistisch signifikante Kennzahlen zu erhalten, wird über einen langen Simulationshorizont von 1000 Perioden gemessen. Zu Beginn einer Periode t ($1 \leq t \leq 1000$) wird für jedes Produkt k ($1 \leq k \leq 8$) die Freigabemenge bestimmt, um einen definierten Ziel-WIP-Bestand

zu erreichen. Hierzu wird die im System befindliche Arbeitslast $\hat{W}_{k,t}$ je Produkt, welche sich zu Beginn von Periode t im System befindet, ermittelt. Diese ist definiert durch die Freigabemenge $R_{k,t-1}$, welche zu Beginn der Vorperiode in das Produktionssystem freigegeben wurde, multipliziert mit der kumulierten Stückbearbeitungszeit tb_k^{kum} , abzüglich der in der Vorperiode erbrachten Arbeitsleistung $\lambda_{k,t-1}$. Die erbrachte Arbeitsleistung $\lambda_{k,t}$ beschreibt hierbei die in Periode t geleistete Arbeit in Zeiteinheiten. Es ist zu beachten, dass die Arbeitslast auch unfertige Arbeitsgänge beinhaltet, d.h. Arbeitsgänge, welche zum Periodenende nicht beendet worden sind, werden anteilig berücksichtigt. Es gilt:

$$\hat{W}_{k,t} = R_{k,t-1} \cdot tb_k^{kum} - \lambda_{k,t-1} \quad \forall 1 \leq k \leq K \wedge 1 \leq t \leq T \quad (4)$$

Aus dieser zu Beginn einer Periode t im Produktionssystem befindlichen Arbeitslast $\hat{W}_{k,t}$ kann die Freigabemenge $R_{k,t}$ ermittelt werden um den Ziel-WIP-Bestand $W_{k,Ziel}$ zu erreichen. Es ist zu beachten, dass $\hat{W}_{k,t}$ die Arbeitslast in Zeiteinheiten beschreibt, aber der Ziel-WIP-Bestand den WIP-Bestand eines Produktes k in Mengeneinheiten (ME) beschreibt. Somit ist die Arbeitslast in Stückerheiten umzurechnen. Die Freigabemenge $R_{k,t}$, welche zu Beginn einer Periode t von Produkt k freizugeben ist, ergibt sich aus:

$$R_{k,t} = W_{k,Ziel} - \frac{\hat{W}_{k,t}}{tb_k^{kum}} \quad \forall 1 \leq k \leq K \wedge 1 \leq t \leq T \quad (5)$$

Zu Beginn einer jeden Periode t für jedes Produkt k ist ein vorab definierter Ziel-WIP-Bestand in ME im Produktionssystem vorhanden. Dieser setzt sich aus den im Produktionssystem befindlichen Auftragsmengen sowie den Freigabemengen zusammen. Der Ziel-WIP-Bestand $W_{k,Ziel}$ wird für jede Periode t und Produkt k über eine Normalverteilung mit einem im Simulationsexperiment konstanten Mittelwert $\mu_{ZielWIP}$ sowie einer Streuung $\sigma_{ZielWIP}$ ermittelt. Die Streuung ist durch einen Variationskoeffizienten von 0,3 definiert. Dieser Variationskoeffizient korrespondiert mit dem der Auftragsmengen der Bedarfe. Für ein spezifisches Produkt k^* erfolgt die Messung der CF in einem separaten Simulationsexperiment. Somit ist zu Beginn jeder Periode t von Produkt k^* exakt der definierte Ziel-WIP-Bestand und von den übrigen Produkten im Mittel der definierte Ziel-WIP-Bestand im Produktionssystem vorhanden. Die Mittelwerte der Ziel-WIP-Bestände $\mu_{ZielWIP}$ werden schrittweise von 1 – 500 erhöht. Gemessen wird die mittlere Ausbringungsmenge von Produkt k^* über den Simulationshorizont. Hierzu wird am Ende jeder Periode die Ausbringungsmenge $X_{k^*,t}$ gemessen. Aus diesen Messwerten wird eine mittlere Ausbringungsmenge für einen definierten WIP-Bestand errechnet.

5 Modell zur Auftragsfreigabe

Das von Ravindran et al. (2011) beschriebene Entscheidungsmodell zur Auftragsfreigabe wurde um die Berücksichtigung von mehreren Produkten sowie für den Einsatz in eine rollierende Planungsumgebung erweitert. Auf Basis dieses

erweiterten Modells konnten bereits für einen wiederbeschaffungszeitbezogenen Alpha-Servicegrad vielversprechende Ergebnisse erzielt werden (siehe Lange et al. 2013). In dieses Modell wird nun ein Beta-Servicegrad integriert. Eine Beschreibung des Entscheidungsmodells ist nachfolgend aufgeführt (der Erwartungswert einer Variablen x wird durch $E(x)$ beschrieben).

- Parameter:

$CF_k(W_{k,t-1})$: Produktspezifische CF zur Bestimmung der Ausbringungsmenge.

$E(D_k)$: Mittelwert der Bedarfe für Produkt k in Periode t . Kleinster Wert: $D_{k,\min}$.

h_k : Lagerkostensatz für Produkt k .

- Entscheidungsvariablen:

$F_{k,t}$: Fehlmengen von Produkt k in Periode t . Initiale Fehlmengen: $F_{k,0}$.

$I_{k,t}$: Lagerbestand von Produkt k am Ende von Periode t . Initialbestand: $I_{k,0}$.

$R_{k,t}$: Freigabemenge von Produkt k zu Beginn von Periode t .

$X_{k,t}$: Produktionsmenge von Produkt k in Periode t , welche in t verfügbar ist.

$W_{k,t}$: WIP-Bestand von Produkt k am Ende von Periode t . Initialbestand: $W_{k,0}$.

$Y_{k,t}$: Hilfsvariable für Produkt k zur Ermittlung der Freigabemenge $R_{k,t}$.

- Zielfunktion

$$\text{Minimiere } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \left(h_k \cdot \left(E(I_{k,t}) + E(W_{k,t}) \right) \right) \quad (6)$$

- Lagerbilanzgleichung

$$E(I_{k,t}) = (I_{k,0} - F_{k,0}) + \sum_{i=1}^t E(X_{k,i}) - \sum_{i=1}^t E(D_{k,i}) + \sum_{i=1}^t E(F_{k,i}) \quad (7)$$

- WIP-Bestand

$$E(W_{k,t}) = W_{k,0} + \sum_{i=1}^t \left(Y_{k,i} + E(D_{k,i}) - E(X_{k,i}) \right) \quad (8)$$

- Servicegradrestriktion

$$\left((I_{k,0} - F_{k,0}) + W_{k,0} \right) + \sum_{i=1}^t Y_{k,i} \geq E(D_{k,t}) + \Phi_{N(0,1)}^1(v_{k,t}) \cdot \sigma(D_{k,t}) \quad (9)$$

mit $v_{k,t} = \frac{(1-\beta) \cdot q_{k,t}}{\sigma(D_{k,t})} \wedge q_{k,t} = E(D_{k,t}) + \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^t Y_{k,i}$

- Kapazitätsrestriktion

$$E(X_{k,t}) \leq CF_k(W_{k,t-1}) \quad (10)$$

- Nicht-Negativitätsbedingung

$$\begin{aligned} Y_{k,t} + D_{k,\min} &\geq 0 \\ E(I_{k,t}), E(W_{k,t}), E(X_{k,t}), E(F_{k,t}) &\geq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Durch die Zielfunktion (6) erfolgt die Minimierung der Gesamtkosten für die Endproduktlager- sowie WIP-Bestände. Durch die Lagerbilanzgleichung (7) wird der Bestand an Endprodukten zum Ende einer Periode t ermittelt. Die auftretenden Fehlmengen werden hierbei explizit ausgewiesen. Über die Gleichung zum WIP-Bestand (8) erfolgt die Ermittlung der am Ende einer Periode t vorhandener WIP-Bestände. Auftretende Fehlmengen werden über die Servicegradrestriktion (9) reguliert. Hierdurch werden die notwendigen Bestandsänderungen $Y_{k,t}$ je Produkt k und Periode t ermittelt, sodass der Bestellbestand nicht unterschritten wird. Zur Berechnung des Bestellbestandes wird als Los $q_{k,t}$ der Erwartungswert der Bedarfe für ein Produkt k in Periode t , zuzüglich der mittleren Bestandsänderungen $Y_{k,t}$ der Vergangenheitswerte verwendet. Die ermittelte CF wird in der Kapazitätsrestriktion (10) verwendet. Diese beschreibt für einen definierten WIP-Bestand die zu erwartende Ausbringungsmenge.

Durch das Entscheidungsmodell werden die Bestandsänderungen $Y_{k,t}$ ermittelt. Auf Basis dieser Werte und dem in der Vorperiode tatsächlich eingetretenen Bedarfsmenge werden die Freigabemengen berechnet: $R_{k,t} = Y_{k,t-1} + D_{k,t-1}$.

6 Experimente

Durch Simulationsexperimente soll die Leistungsfähigkeit des oben beschriebenen Entscheidungsmodells untersucht werden. Hierfür wird das Modell mit einer Basestock-Politik verglichen. Durch Langzeitsimulationen über 1000 Perioden wird die statistische Signifikanz der Kennzahlen sichergestellt. Nachfolgend werden die Erzeugung der unterschiedlichen Bedarfsszenarien, das Vergleichsmodell sowie die erzielten Ergebnisse beschrieben.

6.1 Erzeugung der Bedarfsszenarien

Die Bedarfe aller Produkte sind normalverteilt sowie in jeder Periode stochastisch unabhängig. Die im Mittel auftretenden Bedarfsmengen im Simulationshorizont ist über alle Produkte identisch, d.h. im Mittel wird von jedem Produkt die gleiche Menge benötigt und somit produziert. Die Mittelwerte $\mu_{k,t}$ und Standardabweichungen $\sigma_{k,t}$ je Produkt k und Periode t können variieren, wobei $\sigma_{k,t}$ durch einen Variationskoeffizienten von 0,3 bestimmt werden.

Um eine Variation der Auftragsmengen zu schaffen, werden die Mittelwerte je Produkt im Zeitverlauf variiert. Dies erfolgt in Anlehnung an Ravindran et al. (2011) über zwei Steuergrößen. Zum einen wird über eine Gleichverteilung, mit einer unteren Schranke δ_{\min} sowie einer oberen Schranke δ_{\max} , der Parameter Δ_n bestimmt.

Dieser gibt an, in welchen Abständen eine Änderung der Mittelwerte erfolgt. Es gilt: $\Delta_n = U(\delta_{\min}, \delta_{\max})$. Der neue Mittelwert μ_n wird ebenfalls über eine Gleichverteilung mit einer unteren Schranke ρ_{\min} sowie einer oberen Schranke ρ_{\max} ermittelt, also durch: $\mu_n = U(\rho_{\min}, \rho_{\max})$. Auf Basis dieser Steuergrößen Δ_n und μ_n können für den gesamten Simulationshorizont T Mittelwerte erzeugt werden. Sind die Mittelwerte je Periode generiert, so erfolgt die Erstellung von tatsächlichen Auftragsmengen je Produkt und Periode über eine Normalverteilung und zwar über das oben dargestellte Verfahren. Insgesamt werden zwei unterschiedliche Bedarfsszenarien betrachtet, die sich in der Höhe der Schwankungen der Auftragsmengen unterscheiden. Die Mittelwerte und Streuungen je Produkt und Szenario, die in den Simulationsuntersuchungen tatsächlich auftraten, sind in der nachstehenden Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Mittelwerte und Streuungen je Produkt und Bedarfsszenario

Produkt	Part01	Part02	Part03	Part04	Part05	Part06	Part07	Part08
Szenario I: $\Delta_n = U(3,12)$; $\mu_n = U(60,90)$								
Mittelwert	75,82	75,30	75,35	73,96	75,27	74,53	74,30	75,08
Streuung	25,33	23,48	23,86	24,58	24,26	23,26	25,26	24,50
Szenario II: $\Delta_n = U(3,12)$; $\mu_n = U(50,100)$								
Mittelwert	75,46	74,74	75,44	75,41	74,76	74,69	75,19	76,60
Streuung	27,78	26,94	27,96	26,96	27,15	27,92	26,83	27,63

6.2 Vergleichsmodell

Um die Leistungsfähigkeit des Entscheidungsmodells bewerten zu können, wird dieses mit einer Basestock-Politik verglichen. Der Mittelwert der Auftragsmengen über den gesamten Horizont von Produkt k ist die Losgröße q_k . Somit kann für einen definierten Beta-Servicegrad der Bestellbestand s_k wie folgt berechnet werden; s. z.B. Herrmann (2011).

$$s_k = E(Y_k^*) + v_k \cdot \sigma(Y_k^*) \quad \text{mit} \quad \Phi_{N(E(Y_k^*), \sigma^2(Y_k^*))}^{-1}(v_k) = \frac{(1-\beta) \cdot q_k}{\sigma(Y_k^*)} \quad (12)$$

Eine detaillierte Berechnung der Nachfragemengen im Wiederbeschaffungszeitraum ist z.B. in Herrmann (2011) beschrieben. Es liegt eine Wiederbeschaffungszeit von einer Periode vor, sodass analog zum Entscheidungsmodell i.d.R. in jeder Periode eine Bestellentscheidung getroffen wird.

6.3 Ergebnisse

Durch Simulationsexperimente wird die Leistungsfähigkeit des Entscheidungsmodells mit dem der Basestock-Politik verglichen. Als Kenngrößen werden neben dem erzielten Beta-Servicegrad auch der Mittelwert und die Streuung der Lagerbestände über alle Perioden und Produkte herangezogen. In der

nachstehenden Tabelle 3 sind die Ergebnisse für einen angestrebten Beta-Servicegrad von 95% dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse für einen Beta-Servicegrad von 95%

Angestrebter Beta-Servicegrad von 95%					
Modell	Servicegrad		Lagerbestand		Szenario
	Mittelwert	Streuung	Mittelwert	Streuung	
LP-Modell	95,22	0,47	42,95	34,64	S – I
Basestock	93,36	0,70	42,73	31,80	S – I
LP-Modell	94,81	0,69	44,87	35,28	S – II
Basestock	92,29	1,12	43,37	31,61	S – II

Die Ergebnisse zeigen, dass durch das Entscheidungsmodell der Servicegrad nahezu erreicht werden kann. Die Basestock-Politik verfehlt den Servicegrad um teilweise über 2 Prozentpunkte. Insbesondere die Streuung der Servicegrade konnte deutlich reduziert werden, sodass die Schwankungen der Servicegrade der einzelnen Produkte geringer sind. Die Lagerbestände im LP-Modell sind geringfügig höher.

Die Untersuchung wurde auch für einen zu erreichenden Beta-Servicegrad von 90% durchgeführt. Nachfolgende Tabelle 4 zeigt die erzielten Ergebnisse. Der Vorteil durch unseren Ansatz ist noch deutlicher. Wie aus der Literatur bekannt (siehe z.B. Herrmann (2011)), steigen bei einem höheren Servicegrad die Bestände an. Im vorliegenden Modell existiert keine Auslieferung von Teilmengen. So erfolgt die Bedarfsdeckung und somit die Auslieferung erst, wenn der gesamte Bedarf durch den Lagerbestand gedeckt wird. Bei einem geringeren Servicegrad steigt die Anzahl der Auftragsrückstände an, was somit zu einer Erhöhung der Lagerbestände führt.

Tabelle 4: Ergebnisse für einen Beta-Servicegrad von 90%

Angestrebter Beta-Servicegrad von 90%					
Modell	Servicegrad		Lagerbestand		Szenario
	Mittelwert	Streuung	Mittelwert	Streuung	
LP-Modell	90,66	0,56	46,30	34,41	S – I
Basestock	86,29	2,68	45,28	29,61	S – I
LP-Modell	90,61	0,62	47,05	35,06	S – II
Basestock	86,31	2,72	45,71	30,04	S – II

7 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag zeigt, wie eine produktspezifische CF in einem Produktionssystem mit beschränkten Kapazitäten ermittelt werden kann. Das von Ravindran et al. (2011) beschriebene Modell zur Auftragsfreigabe wurde durch uns erweitert und mit

einem Modell aus dem Bestandsmanagement verglichen. Verbesserungen konnten erzielt werden.

Die Güte einer CF zur Abschätzung von Kapazitätsbedarfen ist weiter zu untersuchen und ihr Einsatz in weiteren Planungsaufgaben zu evaluieren.

Literatur

- Assumdsen, J.; Rardrin, R.; Turkseven, C.; Uzsoy, R.: Production planning models with resources subject to congestion. *Naval Research Logistics* 56 (2009) 2, S. 142-157.
- Graves, D.: A tactical planning model for a job shop. *Operations Research* 34 (1986), S. 552-533.
- Hackman, S.; Leachman, R.: A general framework for modeling production. *Management Science* 35 (1989) 4, S. 478-495.
- Herrmann, F.: Operative Planung in IT-Systemen für die Produktionsplanung und –steuerung. Wiesbaden: Vieweg & Teubner 2011.
- Kacar, N.; Irtem, D.; Uzsoy, R.: An Experimental Comparison of Production Planning Using Clearing Functions and Iterative Linear Programming-Simulation Algorithm. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 25 (2012), S. 104-107.
- Kacar, N.; Uzsoy, R.: Estimating Clearing functions from simulation data. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference* (2010), S. 1699-1710.
- Karmarkar, U. Capacity loading and release planning with Work-in-Progress (WIP) and Leadtimes. *Journal of Manufacturing and Operations Management* 2 (1989), S. 105-123.
- Kim, B.; Kim, S.: Extended model for a hybrid production planning approach. *International Journal of Production Economics* 73 (2001), S. 165-173.
- Lange, F.; Herrmann, F.; Claus, T.: Simulation Based Clearing Functions for a Model of Order Release Planning. *Proceedings of the European Conference On Modelling And Simulation* (2013), in Press.
- Missbauer, H.: Aggregate order release planning for time-varying demand. *International Journal of Production Research* 40 (2002), S. 688-718.
- Missbauer, H.; Uzsoy, R.: Optimization Models of Production Planning Problems. In: Kempf, G. et al. (Hrsg.): *Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise*. International Series in Operations Research & Management, Springer Science+Business Media (2011), 173-208.
- Ravindran, A.; Kempf, K.; Uzsoy, R.: Production planning with load-dependent lead times and safety stocks for a single product. *International Journal of Planning and Scheduling* 1 (2011) 1, S. 58-89.
- Spitter, J.; Hurkens, C.; de Kok, A.; Lenstra, J.; Negenman, E.: Linear programming models with planned lead times for supply chain operations planning. *European Journal of Operational Research* 163 (2005), S. 706-720.
- Voss, S.; Woodruff, D.: *Introduction to Computational optimization Models for Production Planning in a Supply Chain*. Berlin: Springer 2003.
- Zhang, X.; Prajapati, M.; Peden, E.: A stochastic production planning model under uncertain seasonal demand and market growth. *International Journal of Production Research* 49 (2011) 7, S. 1957-1975.