

Einsatz von OR-Methoden in der Fabrikplanung an den Beispielen Karosserie-Rohbau und Motorenfertigung

Horst Tempelmeier

Seminar für SCM und Produktion
Universität zu Köln



VHB WK Operations Research

Ingolstadt, 23.1.2009

Übersicht

- 1 Einführung
- 2 Fließproduktionssysteme
- 3 Analyse
- 4 Optimierung
- 5 Praktische Beispiele
- 6 Zusammenfassung

- 1** Einführung
- 2 Fließproduktionssysteme
- 3 Analyse
- 4 Optimierung
- 5 Praktische Beispiele
- 6 Zusammenfassung

Planungsphasen

- System (Planung des Logistik-Netzes, Standortplanung)
- Fabrik
 - Produktionsanlagen
 - Materialfluß
- Arbeitssysteme, Stationen

- 1 Einführung
- 2 Fließproduktionssysteme**
- 3 Analyse
- 4 Optimierung
- 5 Praktische Beispiele
- 6 Zusammenfassung

Eigenschaften von Fließproduktionssystemen

- Lineare Systeme (Motorenfertigung, Getriebefertigung)
- Konvergierender Materialfluß (Karosseriebau)
- Asynchroner Materialfluß
- Parallele Stationen (Lack)
- Variantenproduktion

Deterministische Planungssituation

Fließbandabstimmung

Gegeben

- Ziel-Produktionsmenge, Vorranggraph

Entscheidungen

- Wie viele Stationen?
- Welche Arbeitsverteilung?

Problem SALBP-1

- Fließbandabstimmung

Stochastische Planungssituation

Daten

Gegeben

- Ziel-Produktionsmenge, Arbeitslastverteilung
- Handarbeitsplätze: Stochastische Bearbeitungszeiten
- Roboter, Maschinen: Störungen

Outputverlust

durch Leerzeiten und Blockierzeiten

Wenn

- Deterministische Bearbeitungszeiten und Störungen (Roboter, Maschinen)

oder

- Stochastische Bearbeitungszeiten (Handarbeitsplätze)

dann

- Asynchroner Materialfluß!
- Outputverlust durch **Leerzeiten** und **Blockierzeiten**

Stochastische Planungssituation

Entscheidungen

- Pufferplätze: Gesamtanzahl? Welche Verteilung?
- Ressourcen: Wieviel Roboter pro Station?
- Ressourcen: Welche Produktionsgeschwindigkeit (Taktzeiten) pro Station?

bei gegebenen Arbeitsumfängen der Stationen

Fragestellungen

- Welcher Output ist bei gegebenen Taktzeiten erreichbar?
- Welcher Output ist bei gegebenen Puffergrößen erreichbar?
- Beziehung zwischen Taktzeiten und Puffergrößen?

- 1 Einführung
- 2 Fließproduktionssysteme
- 3 Analyse**
- 4 Optimierung
- 5 Praktische Beispiele
- 6 Zusammenfassung

Leistungsanalyse kleiner Systeme

- 1 Station, deterministische Bearbeitungszeiten, Störungen
- 1 Station, allgemeinverteilte Bearbeitungszeiten (Störungen)



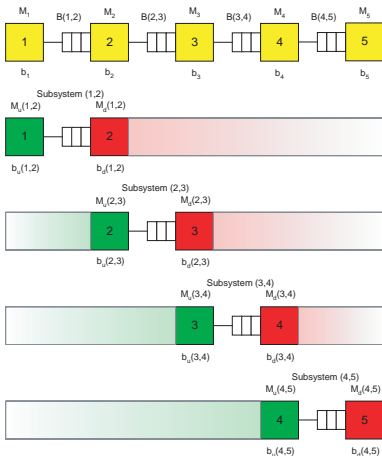
- 2 Stationen, deterministische Bearbeitungszeiten, Störungen
- 2 Stationen, exponentialverteilte Bearbeitungszeiten



- 3 Stationen, deterministische Bearbeitungszeiten, Störungen

Leistungsanalyse großer Systeme

Dekomposition



- 1 Einführung
- 2 Fließproduktionssysteme
- 3 Analyse
- 4 Optimierung**
- 5 Praktische Beispiele
- 6 Zusammenfassung

Modellvarianten

Theorie

- Pufferoptimierung
Wie viele **Pufferplätze** ?
- Ressourcenoptimierung
Wie viele **Ressourcen** (z. B. Roboter) pro Station?
- Taktzeitoptimierung
Welche **Bearbeitungszeit** pro Station?
- Taktzeit- und Pufferoptimierung
Wie viele **Pufferplätze** und welche **Taktzeiten**?

Pufferoptimierung

Problemstellung

Gegeben

- Stationszeiten (Arbeitsumfänge)
- Störparameter

Aufgabe

- Zielproduktionsrate optimal erreichen

Optimalitätskriterien

- Barwert aller Einzahlungsüberschüsse (maximieren)
- Investitionsauszahlungen (minimieren)
- Puffergrößen (minimieren)

Pufferoptimierung

Teilprobleme

- Pufferminimierungsproblem (Primalproblem)
Wie viele **Pufferplätze** werden insgesamt benötigt, um eine **angestrebte Produktionsrate** zu erreichen?

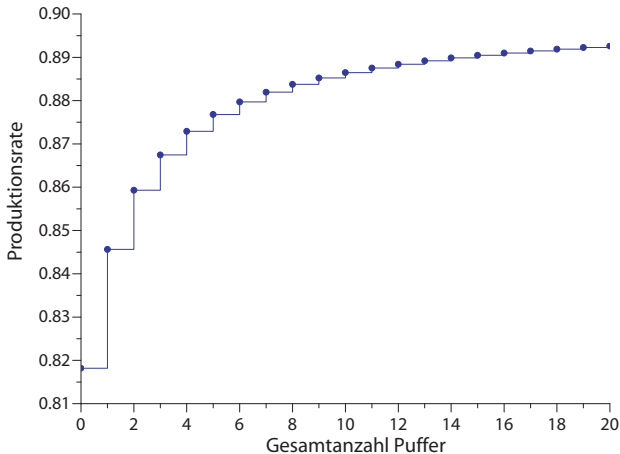
$$B = f(X_{\min})$$

- Pufferallokationsproblem (Dualproblem)
Wie hoch ist die **maximale Produktionsrate**, die mit einer **gegebenen Anzahl von Pufferplätzen** erreichbar ist?

$$X = f(b_1, b_2, \dots, b_N)$$

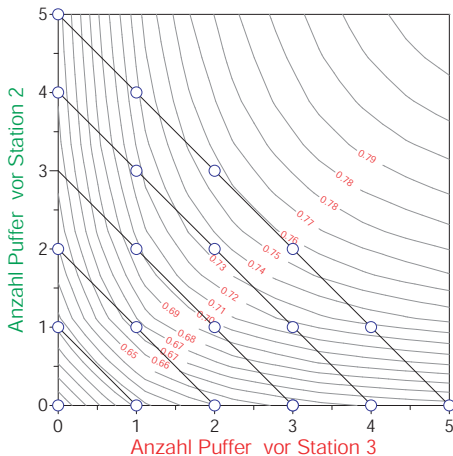
Pufferoptimierung – Zwei-Stationen-System

$N = 1$ Puffer



Pufferoptimierung – Drei-Stationen-System

$N = 2$ Puffer



Pufferoptimierung – M -Stationen-System

N Puffer, B Pufferplätze

$$\frac{(B+1) \cdot (B+2) \cdot \dots \cdot (B+N-1)}{(N-1)!} \text{ Alternativen}$$

Lösungsansätze

- Vollenumeration?
- Erfahrungsgestützte lokale Suche
- Genetische Algorithmen
- Simulierte Abkühlung
- Dynamische Optimierung
- Greedy-Verfahren
- Gradientenverfahren

Jede Lösungsalternative muß mit einer Methode zur Leistungsanalyse **bewertet** werden!

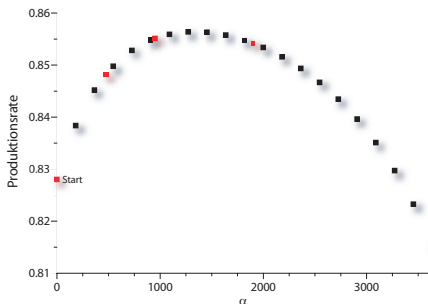
Wenn die Gesamtanzahl Pufferplätze B gegeben ist ...

Dualproblem

Maximiere $Z = X(\mathbf{b})$

u.B.d.R.

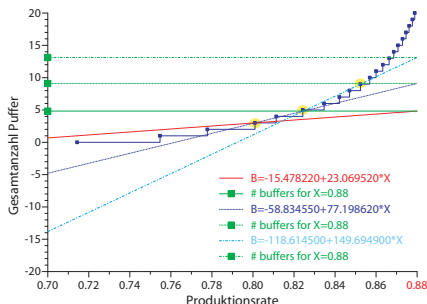
$$\sum_{n=1}^N b_n \leq B$$



Wenn die Zielproduktionsrate X_{\min} gegeben ist ...

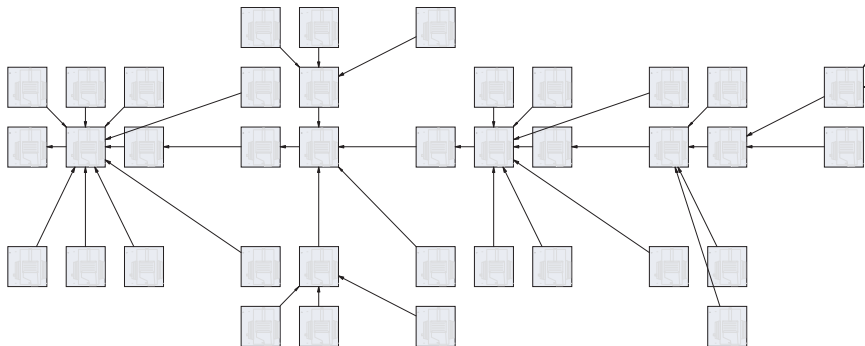
Primalproblem

$$\text{Minimiere } Z = \sum_{n=1}^N b_n \quad \text{u.B.d.R.} \quad X(\mathbf{b}) \geq X_{\min}$$

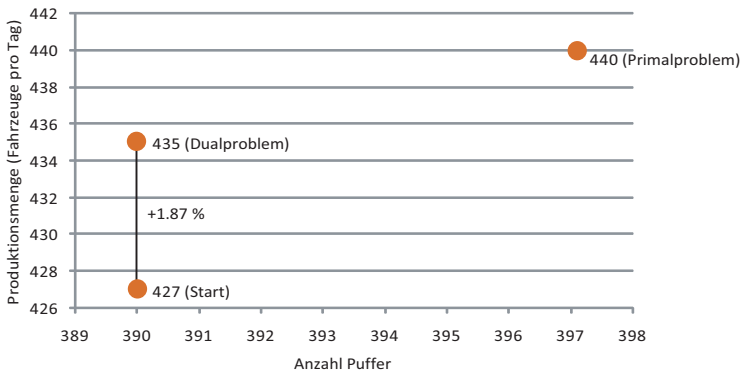


- 1 Einführung
- 2 Fließproduktionssysteme
- 3 Analyse
- 4 Optimierung
- 5 Praktische Beispiele**
- 6 Zusammenfassung

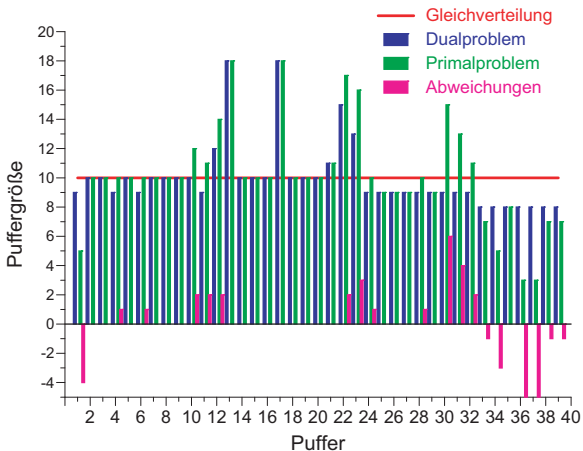
Rohbau – Systemstruktur



Rohbau – Lösungsalternativen



Rohbau – Pufferverteilungen



Motorenfertigung – Daten

Station	Puffergröße	Taktzeit (Min.)	Verfügbarkeit	MTTR (Min.)
Stat-1	–	0.468	0.97	49
Stat-2	14	0.45	0.98	40
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Stat-19	13	0.47	0.96	43
Stat-20	10	0.46	1.0	–

Motorenfertigung – Optimierungsoptionen

	Produktionsrate
Planerversion	100%
Optimale Pufferverteilung	+1.47%
Reduktion MTTR (8,9,10,19)	+0.6%
Erhöhung Verfügbarkeit (8,9,19)	+0.94%

Puffer- und Taktzeitoptimierung

Optimierungsmodell mit allgemeiner Zielfunktion



Minimiere $Z = f(\mathbf{B}, \mathbf{W})$

u. B. d. R.

$$X(\mathbf{B}, \mathbf{W}) \geq X_{\min}$$

$$w_m^{\min} \leq w_m \leq w_m^{\max} \quad m = 1, 2, \dots, M$$

$$b_n = \text{integer} \quad n = 1, 2, \dots, N$$

$$w_m \geq 0 \quad m = 1, 2, \dots, M$$

Puffer- und Taktzeitoptimierung

Lösungsansätze

Für jede Taktzeit-Konfiguration entsteht ein neues Pufferoptimierungsproblem.

Lösungsansätze

- Greedy
- Ansätze der nichtlinearen Optimierung (Powell, Univariate Suche, ...)
- Genetische Algorithmen
- ...

- 1 Einführung
- 2 Fließproduktionssysteme
- 3 Analyse
- 4 Optimierung
- 5 Praktische Beispiele
- 6 Zusammenfassung**

Zusammenfassung ...

Theorie

- Realitätsnahe Modelle und geeignete Algorithmen sind verfügbar

Zusammenfassung ...

Theorie

- Realitätsnahe Modelle und geeignete Algorithmen sind verfügbar

Praktischer Einsatz

- Einfach zu handhabende Benutzerschnittstelle

Zusammenfassung ...

Theorie

- Realitätsnahe Modelle und geeignete Algorithmen sind verfügbar

Praktischer Einsatz

- Einfach zu handhabende Benutzerschnittstelle
- Integration in den Arbeitsablauf des Planers (Schnittstelle zu Simulationswerkzeugen und Layoutplanung-Software, XML-Dateien)

Zusammenfassung ...

Theorie

- Realitätsnahe Modelle und geeignete Algorithmen sind verfügbar

Praktischer Einsatz

- Einfach zu handhabende Benutzerschnittstelle
- Integration in den Arbeitsablauf des Planers (Schnittstelle zu Simulationswerkzeugen und Layoutplanung-Software, XML-Dateien)
- "Digitale Fabrik"-Projekte begünstigen Anwendung von OR-Methoden

Zusammenfassung ...

Theorie

- Realitätsnahe Modelle und geeignete Algorithmen sind verfügbar

Praktischer Einsatz

- Einfach zu handhabende Benutzerschnittstelle
- Integration in den Arbeitsablauf des Planers (Schnittstelle zu Simulationswerkzeugen und Layoutplanung-Software, XML-Dateien)
- "Digitale Fabrik"-Projekte begünstigen Anwendung von OR-Methoden
- Praktische Anwendbarkeit nachgewiesen (VW, BMW, Daimler, Kuka, Ford, Bosch, Osram, ...)

Weitere Informationen:

- www.produktion-und-logistik.de ⇒ Fabrikplanung, Node Design
- www.pom-consult.de ⇒ POM Flowline Optimizer (FlowEval)
- www.advanced-planning.eu ⇒ Performance Evaluation and Buffer Sizing