Projekt Wäschespeichersysteme

Sascha Brandt, Kathlén Kohn,
Kai Schäfer, Sascha Weyers

Universität Paderborn

5. Februar 2013

Inhaltsverzeichnis

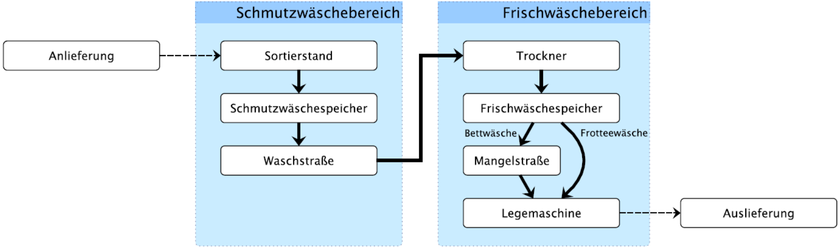
Problemstellung und Vorgehen

Das Projekt

- Kooperation mit Fa. Kannegiesser (Hersteller von Großwäscherei-Systemen)
- Problem: keine einheitliche Produktionsplanung möglich
- Ziel: Einführen von Mechanismen/Strategien zur Optimierung

$\rightarrow$ Dazu: Modellierung einer Großwäscherei

Ablauf in einer Wäscherei



Beispielmodell

- zwei Arten von Wäsche (Batches)
- verschiedene Bearbeitungsschritte mit unterschiedlichen Bearbeitungsdauern
- stark vereinfachtes Modell

Parameter des Beispielmodells

- Schmutzwäschespeicher hat 10 Bahnen mit je 8 Plätzen
- zwei Waschstraßen (13 Kammern, 18 Kammern)
- sechs Trockner
- Frischwäschespeicher hat 4 Bahnen mit je 4 Plätzen
- zwei Mangeln und zwei Legemaschinen
- keine Berücksichtigung von Transportzeiten

Ziele

- Entwickeln von Ein- und Auslagerungsstrategien
- Optimierung bzgl. verschiedener Kriterien, z.B.
  - minimale Durchlaufzeit der Wäsche
  - maximale Auslastung der Maschinen
  - maximaler Durchsatz der Wäscherei
- Belegungsplan einer Wäscherei bei optimalem Durchlauf

Problemstellungen

beispielhafte Probleme:

- Wie lassen sich ,,Staus“ vor den Trocknern vermeiden?
- Wie oft muss der Wäschetyp in der Waschstraße gewechselt werden?
- In welcher Reihenfolge wird Wäsche aus dem Schmutzwäschespeicher geführt?

$\rightarrow$ Dazu: Finden von geeigneter Modellierung

Auswahl von Methoden

- Warteschlangen
- Lineare Optimierung
- Petri-Netze

Lineare Optimierung

geg.: $c \in \mathbb{R}^n$, $A \in \mathbb{R}^{p \times n}$, $b \in \mathbb{R}^p$
ges.: $x \in \mathbb{R}^n$
Allgemeines lineares Optimierungsproblem:

$$\begin{aligned} \min c^T x, \qquad & \text{s.d.} \\ Ax \quad \leq \quad & b \end{aligned}$$

Gemischt-ganzzahlige Lineare Optimierung (MILP): x muss teilweise ganzzahlig sein

Lineare Optimierung

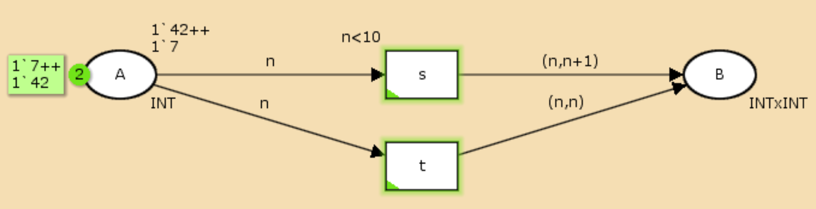
Vorteile:

- Ausgabe ist ein optimaler Belegungsplan der Wäscherei
- variable Zielfunktionen möglich

Aufgabe:

- Umformungen von Gegebenheiten der Wäscherei in mathematische Formulierungen

Gefärbte Petri-Netze



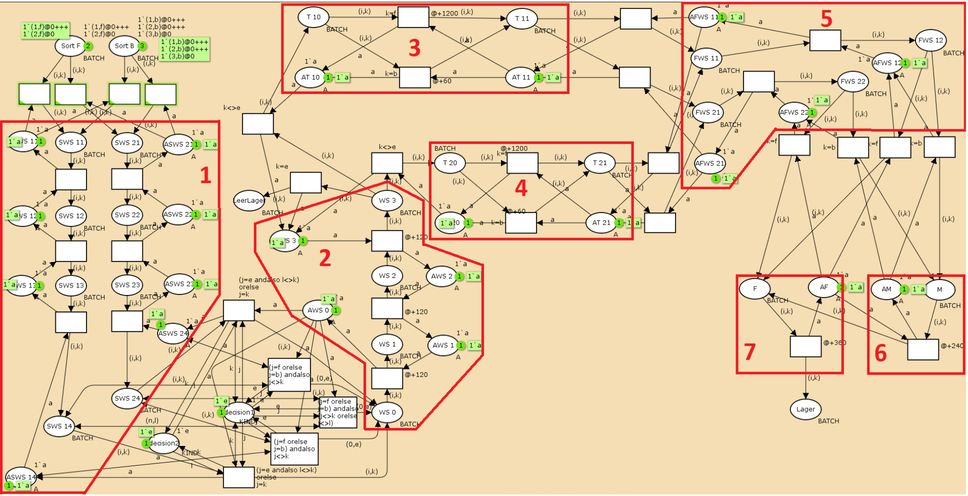
Gefärbte Petri-Netze

- visuelle Darstellung einer Wäscherei möglich
- Testen/Verifizieren von Strategien
- Simulation/Analyse von mehreren Durchläufen der Wäsche

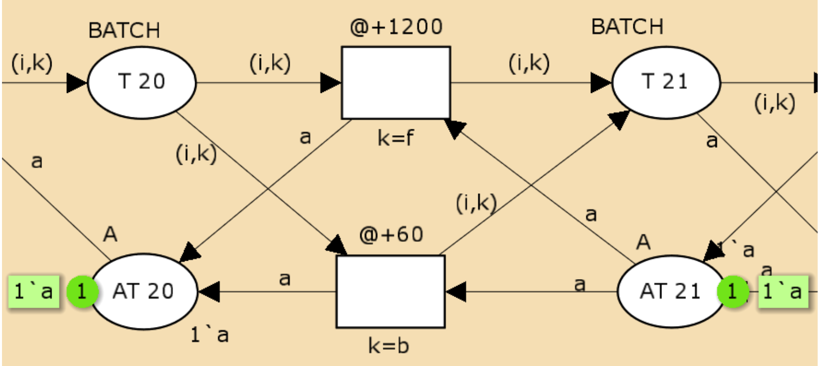
Modellierung durch Petri-Netze

Modellierung der Wäscherei

- Batches als Token
- Speicherplätze der Wäscherei als Stellen
- Vorgänge und Transportwege als Transitionen


1
2
3
4
5
6
7
Sort F
Sort B
SWS 11
SWS 12
SWS 13
SWS 14
SWS 21
SWS 22
SWS 23
SWS 24
ASWS 14
ASWS 24
T 10
T 11
AT 10
AT 11
T 20
T 21
AT 21
WS 0
WS 1
WS 2
WS 3
AWS 0
AWS 1
AWS 2
LeerLager
decision1
decision2
FWS 11
FWS 12
FWS 21
FWS 22
AFWS 12
AFWS 21
F
AF
AM
M
Lager
BATCH
@+1200
@+60
@+120
@+360
@+240
(i,k)
k=f
k=b
k<>e
k=e
(j=e andalso l<>k)
orelse
j=k
(j=f orelse
j=b) andalso
j<>k
(0,e)
(n,l)
KIND

Beispiel: Trockner



Auslagerungsstrategien aus dem Schmutzwäschespeicher

1. nichtdeterministisches Verhalten
2. fester Grenzwert für Frotteewäsche
   Frotteewäsche wird aus dem Speicher geholt, wenn:
   - keine Bettwäsche verfügbar ist oder
   - Bettwäsche verfügbar ist und sich weniger Frotteewäsche in Waschstraßen und Trocknern befindet als der Grenzwert angibt
3. Wahrscheinlichkeiten
   Aus dem Speicher wird geholt:
   - Bettwäsche (wenn vorhanden) mit Wahrscheinlichkeit q
   - Frotteewäsche (wenn vorhanden) mit Wahrscheinlichkeit $1 - q$

Analyse der Strategien

- Monitore:
  - sammeln Daten während Simulation
  - berechnen Werte aus Daten (Summen, Durchschnitte, ...)
  - berechnen Werte aus mehreren Simulationsergebnissen
- betrachtete Werte:
  - Gesamtdauer
  - Häufigkeit und Dauer von Staus
  - Anzahl Leerkammern

Modellierung durch Lineare Optimierung

Lineare Optimierung

- Modellierung der Wäscherei als Lineares Problem
- 2 Ansätze:
  - Modellierung mit Binärvariablen
  - Scheduling
- Gemischt-Ganzzahlige Lineare Probleme (MILP)

Lineare Optimierung

Vorgehensweise

- Beispielwäscherei mit Nebenbedingungen beschreiben
- Zielfunktion: Min. Ankunftszeit des letzten Batches im Lager
- Modellierungssprache: AMPL
- Solver:
  - NEOS-Server + Gurobi
  - CPLEX

Lineare Optimierung

NEOS-Server + Gurobi

- Online MILP-Solver
- begrenzte Lösungsdauer
- Probleme mit Binärvariablen
  - $a, b \in \{0, 1\}$, M sehr große Zahl
  - NB: $a \leq b \cdot M$
  - $b = 1 \Rightarrow$ immer erfüllt, $b = 0 \Rightarrow a = 0$
  - Gurobi-Solver: $b = 0.0000001 \Rightarrow b \cdot M \geq 1 \Rightarrow a = 1$

CPLEX

- kommerzieller MIP-Löser von IBM
- Verwendet Branch&Cut-Verfahren

Modell: Binärvariablen

Grundidee

- binäre Variablen
- Wäscherei mit logischen Ausdrücken beschreiben
- logische Ausdrücke in Nebenbedingungen umwandeln

Modell: Binärvariablen

Beispiel

Stationsreihenfolge einhalten

- Batch b, Stationen s, s', Zeitpunkt $t \in \mathbb{N}_0$
- Binärvariable $\Delta_{s,b,t} \in \{0, 1\}$
- Parameter $\varphi_{s,s'} \in \{0, 1\}$
- $\Delta_{s,b,t} = 1 \Leftrightarrow b$ in s zum Zeitpunkt t
- $\varphi_{s,s'} = 1 \Leftrightarrow s'$ Nachfolger von s
- logische Bedingung: $\Delta_{s,b,t} \wedge \Delta_{s',b,t+1} \Rightarrow \varphi_{s,s'}$
- LP-Nebenbedingung: $\Delta_{s,b,t} + \Delta_{s',b,t+1} \leq 1 + \varphi_{s,s'}$

Modell: Binärvariablen

Problem

- Unverhältnismäßig großer Zeitaufwand
- 2 Batches: ca. 1 Minute
- 3 Batches: ca. 5 Minuten
- 4 Batches: ca. 20 Minuten
- Unterschiedliche Algorithmusparameter keine Verbesserung
- Ansatz verworfen

Modell: Scheduling

Scheduling allgemein

- Menge von Aufträgen kostengünstig mit begrenzter Anzahl Ressourcen bearbeiten
- Zeitplan bzw. Maschinenbelegungsplan erstellen

Grundidee

- Reihenfolgen geschickt modellieren mit reellen Variablen

Modell: Scheduling

Beispiel

Stationsreihenfolge

- Batch b, Stationen $S := \{1, \ldots, n\}$
- Entscheidungsvariable $\Theta_{b,s} \in \mathbb{R}_{\geq 0}$: Ankunftszeit von b an $s \in S$
- Parameter $\tau_{b,s} \in \mathbb{R}_{\geq 0}$: Bearbeitungsdauer von b an $s \in S$
- LP-Nebenbedingungen:
  $\Theta_{b,2} \geq \Theta_{b,1} + \tau_{b,1}, \ \Theta_{b,3} \geq \Theta_{b,2} + \tau_{b,2}, \ \Theta_{b,4} \geq \Theta_{b,3} + \tau_{b,3}, \ldots$

Modell: Scheduling

Modell

Zielfunktion

- Minimiere max. Fertigstellungszeitpunkt aller Batches

Parameter

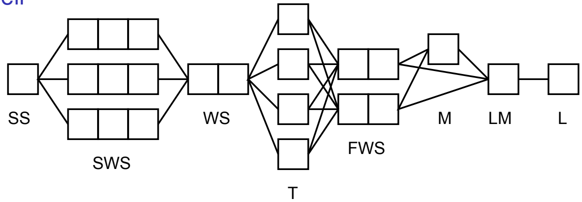
- Mindestbearbeitungszeit pro Wäschetyp und Maschine
- Rüstzeiten an Maschinen

Variablen

- Ankunftszeitpunkte der Batches an den Maschinen
- weitere technische Hilfsvariablen

Modell: Scheduling

Modell



Nebenbedingungen

- Einhaltung der Reihenfolge der Stationen
- Festlegung/Einhaltung der Batchreihenfolge
- Einhaltung des Waschmaschinentaktes
- Einhaltung von Leerkammern (Rüstzeiten)
- Einhaltung der Mindestbearbeitungszeit
- Festlegung der zuständigen Maschine pro Station

Modell: Scheduling

- schneller als Binärvariablen-Modell
- 4 Batches: ca. 1 Minute
- 7 Batches: ca. 45 Minuten
- 8 Batches: ca. 24 Stunden
- Finden einer guten Lösung jedoch schneller

Ergebnis und Ausblick

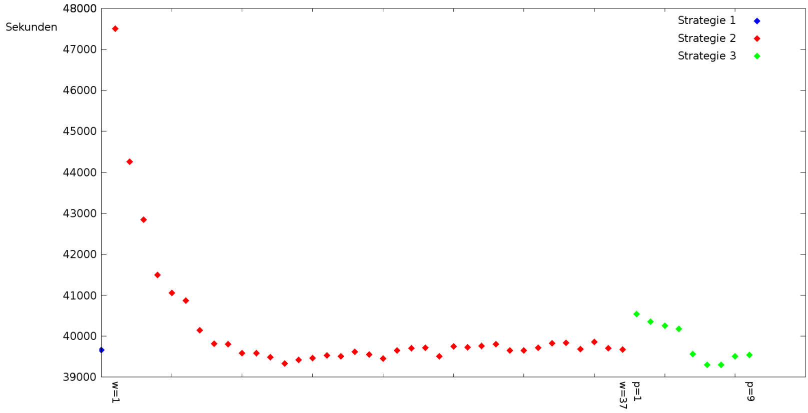
Petri-Netze

- 192 Batches Bettwäsche (= 60%)
- 128 Batches Frotteewäsche (= 40%)
- 3 verschiedene Strategien
- „Erhebung“ der Daten: Monitore
- 100 Simulationsdurchläufe je Parametergruppe

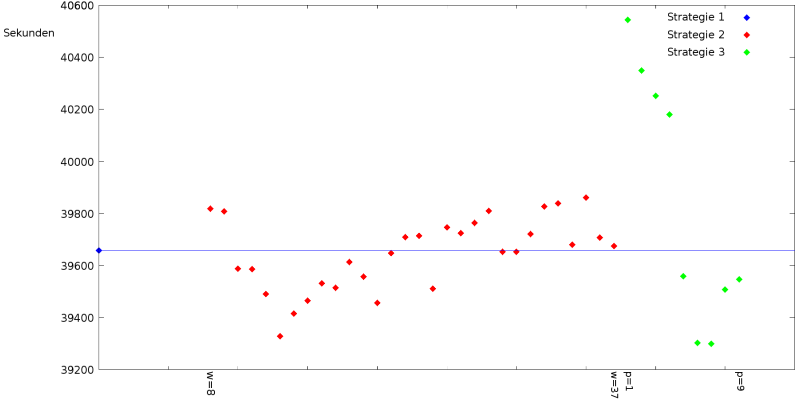
Erinnerung: Strategien

- Strategie 1
  Nichtdeterministisches Verhalten
- Strategie 2
  Frotteewäsche gdw. weniger als $w \in \{1, ..., 37\}$ Batches Frotteewäsche gerade verarbeitet werden,
- Strategie 3
  Bettwäsche erreicht Waschstr. mit WK $\frac{p}{10}, p \in \{1, ..., 9\}$

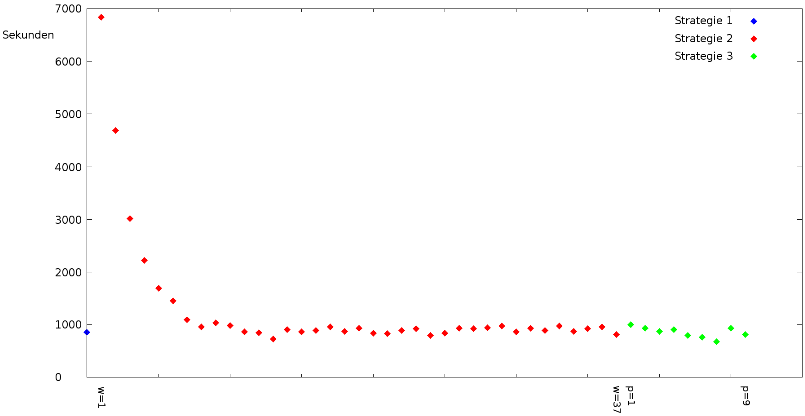
Durchschnittliche Gesamtdauer



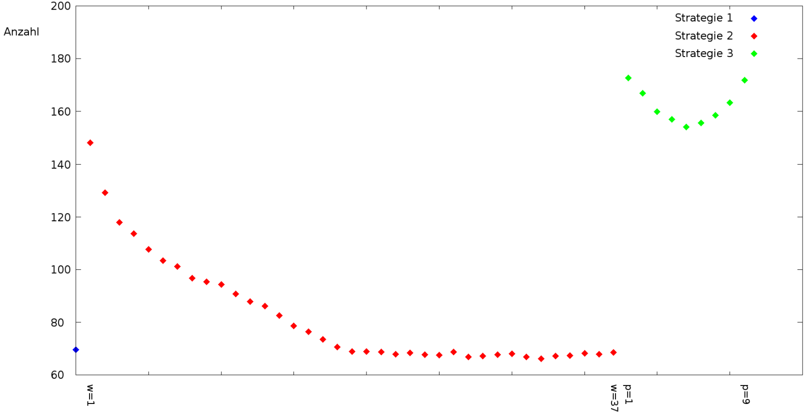
Durchschnittliche Gesamtdauer



Standardabweichung Gesamtdauer



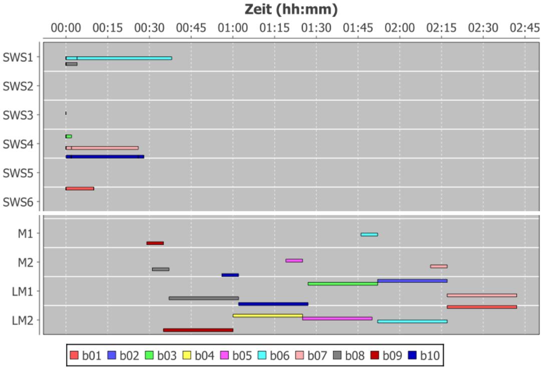
Durchschnittliche Anzahl Leerkammern



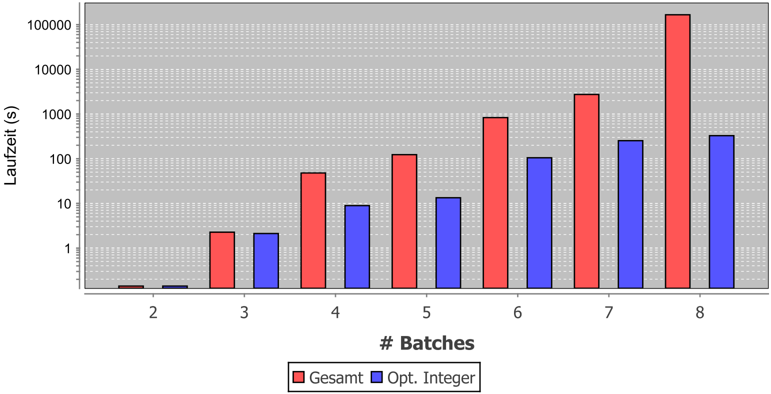
Lineare Optimierung

- Ausgabe: optimaler Belegungsplan
- verwendeter Löser: CPLEX
- Binärvariablen-Ansatz
  - Anzahl der Variablen explodiert (über 1 Mio. bei 4 Batches)
  - Berechnung mit 4 Batches dauert bereits über 1200s
- Scheduling-Ansatz
  - schneller als Binärvariablen-Ansatz (4 Batches in ca. 80s)
  - wird im Folgenden betrachtet

Ausgabe: Belegungsplan (Beispiel für 10 Batches)



Laufzeitverhalten des Lösers (CPLEX)



Fazit

- Petri-Netze
  - Strategie 1 (nichtdeterministisch)
    - konkurrenzfähige Gesamtdauer, wenige Leerkammern
    - hohe Anzahl und Dauer von Staus
  - Strategie 2 (Berücksichtigung aktueller Belegung)
    - kurze Gesamtdauer, wenige Leerkammern
    - „instabil“ für kleine *w*, viele und lange Staus
  - Strategie 3 (WK-basiert)
    - kurze Gesamtdauer und wenige, kurze Staus
    - sehr viele Leerkammern
- Lineare Optimierung
  - optimale Belegung, aber sehr viel Rechenzeit benötigt

Ausblick

Kombination beider Ansätze denkbar:

- Petri-Netze
  - Ausgabe: Leistungsgrößen durch Simulation
  - Sehr gut geeignet zum Testen von Strategien
- Lineare Optimierung
  - Ausgabe: Optimaler Belegungsplan
  - Lösen des LP dauert lange
- Erkennen von Strategien aus Belegungsplan
- Simulation und Test mit Petri-Netz
- Umsetzung in Steuerungssystem der Wäscherei