



Ablaufplanung für Batchmaschinen in der Halbleiterproduktion: Modellierung und Lösungsverfahren

PD Dr. Lars Mönch

Vortrag anlässlich des Treffens „SCM in the Electronics Industry“ der
Arbeitsgruppe SCM der GOR
IBM, Mainz, Oktober 2005

Agenda

- ▷ **Problemanalyse und Modellierung**
- ▷ Heuristische Lösungsverfahren
- ▷ Simulationsbasierte Leistungsbewertung
- ▷ Zusammenfassung und Ausblick

Problemanalyse und Modellierung (I)

Steuerung komplexer Produktionssysteme und –prozesse:

Steuerung der Produktion eines ganzen Unternehmens an einem Standort

- ▷ (inhomogene) parallele Maschinen
- ▷ vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen
- ▷ Konkurrenz von Prototypen mit eigentlichen Produktionslosen
- ▷ sekundäre Ressourcen
- ▷ reihenfolgeabhängige Umrüstzeiten

- ▷ komplexe Arbeitspläne
- ▷ zyklische Losdurchläufe
- ▷ gleichzeitiges Auftreten unterschiedlicher Prozesstypen (u.a. **Batchfertigung**)

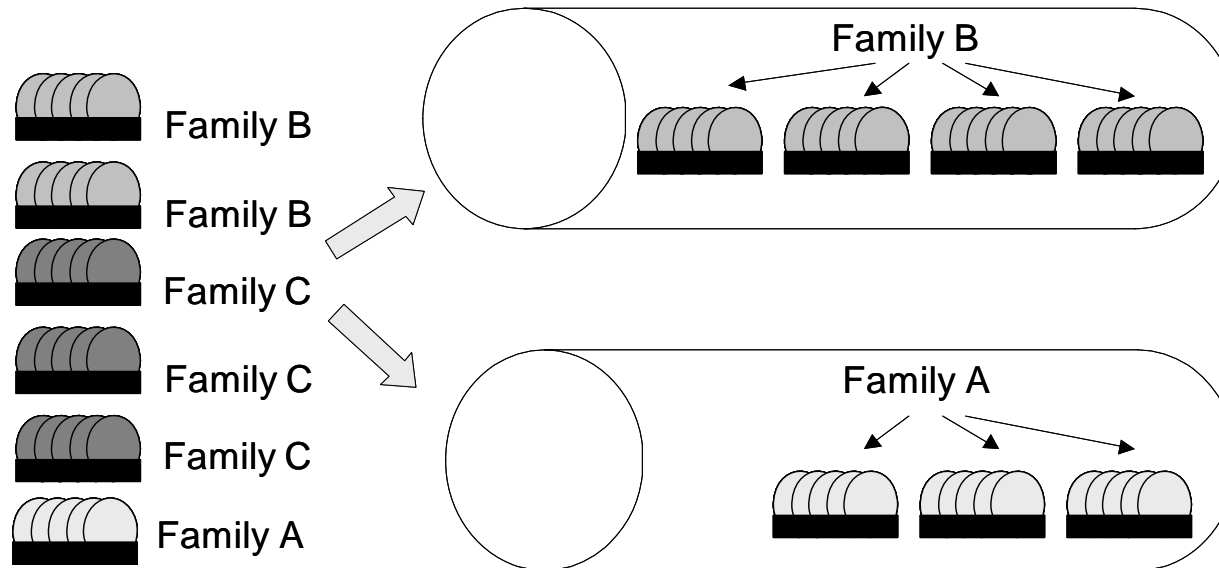
- ▷ zeitlich schwankender Produktmix
- ▷ vorgeschriebene Kundenendtermine
- ▷ interne und externe Störungen

- ▷ Beispiel:
 - Herstellung integrierter Schaltkreise

Problemanalyse und Modellierung (II)

Diffusionsöfen in der Halbleiterfertigung:

Incompatible families

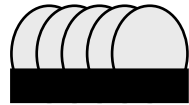


▷ **Drei Entscheidungen:**

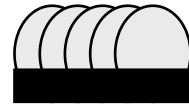
1. Bildung von Batches
2. Aufteilung der Batches
3. Reihenfolge der Batches

Problemanalyse und Modellierung (III)

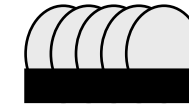
Queue



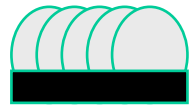
Job 11
 $I_{11}=0.4$



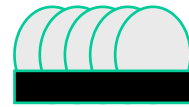
Job 21
 $I_{21}=0.2$



Job 31
 $I_{13}=0.8$

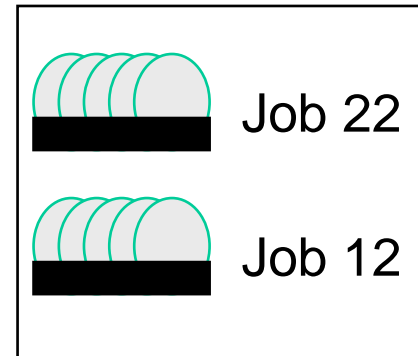
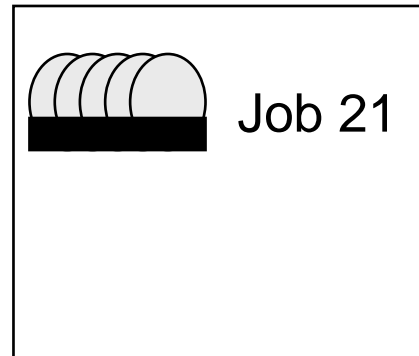
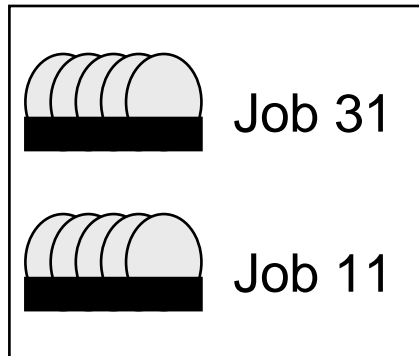


Job 12
 $I_{12}=0.4$



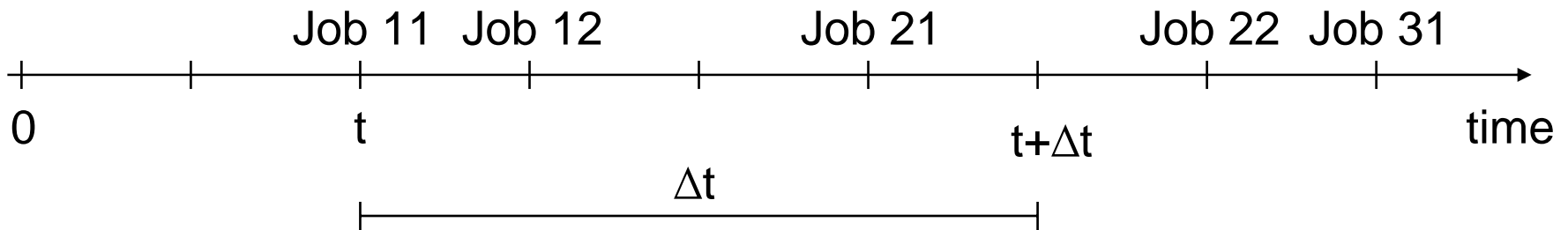
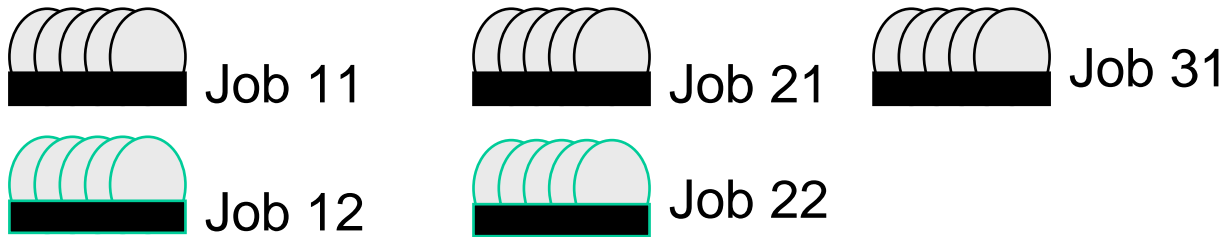
Job 22
 $I_{22}=0.6$

Form Batches ($B=2$)

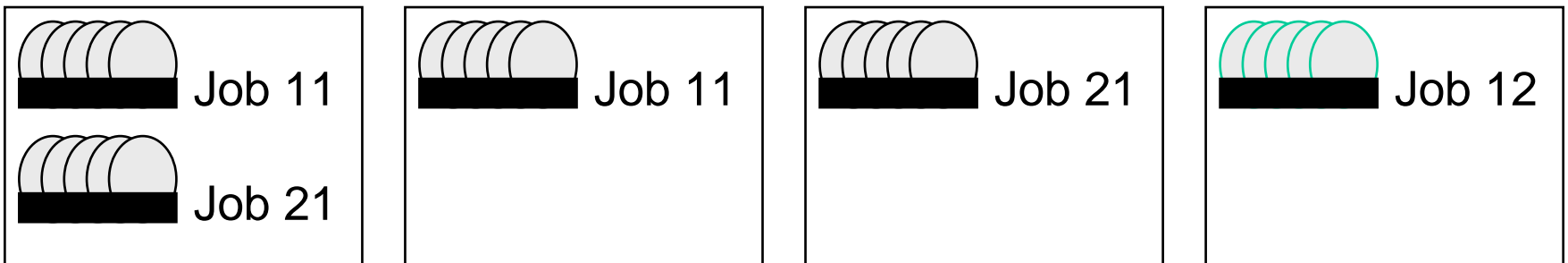


Problemanalyse und Modellierung (IV)

Jobs



Potential Batches (B=2)



Problemanalyse und Modellierung (V)

Gelders-Kleindorfer Relaxation (Devpura et al. 2002)

Zielfunktion:

$$\min \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{C_{\max}} c_{ij}^t x_{ij}^t \quad (1)$$

Nebenbedingungen:

$$\sum_{t=1}^{C_{\max}} x_{ij}^t = p_i \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^t = y_i^t b_i \quad \forall i, t \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^q y_i^t = 1 \quad \forall t \quad (4)$$

Problemanalyse und Modellierung (VI)

Batchbedingungen: $x_{ij}^t + x_{ik}^t + z_{ijk} \leq 2 \quad \forall i,j,k,t$ (5)

$$x_{ij}^t - x_{ik}^t - z_{ijk} \leq 0 \quad \forall i,j,k,t, \quad (6)$$

$$x_{ik}^t - x_{ij}^t + z_{ijk} \leq 0 \quad \forall i,j,k,t \quad (7)$$

Variable: $x_{ij}^t = 1 \text{ or } 0$ Unterlos von Los j der Familie i ist zum Zeitpunkt t eingeplant

$y_i^t = 1 \text{ or } 0$ Lose von Familie i sind zum Zeitpunkt t eingeplant

$z_{ijk} = 0 \text{ or } 1$ Lose j und k von Familie i sind in einem Batch

$$c_{ij}^t = w_{ij} \left(\text{ceil}(t - d_{ij}) / p_j \right)$$

Problemanalyse und Modellierung (VII)

- ▷ Problem **Pm| batch, incompatible, r|j TWT** ist NP-schwer
- ▷ aus Komplexitätsgesichtspunkten Dekomposition und Heuristiken zur Lösung

- ▷ Literatur:
 - Serielles vs. **paralleles** Batching
 - Surveys:
 - **Potts, C. N., Kovalyov, M. Y.:** Scheduling with batching: a review. European Journal of Operational Research 120, 2000, 228-249.
 - **Mathirajan, M., Sivakumar, A.I.:** Scheduling of batch processors in semiconductor manufacturing – a review, 2003.

Agenda

- ▷ Problemanalyse und Modellierung
- ▷ **Heuristische Lösungsverfahren**
 - **Prioritätsregelverfahren**
 - **Dekompositionsheuristik auf Basis GA**
 - **Einsatz im Rahmen der Shifting-Bottleneck-Heuristik**
 - **Parameterwahl**
- ▷ Simulationsbasierte Leistungsbewertung
- ▷ Zusammenfassung und Ausblick

▷ **Prioritätsregelbasierter Ansatz:**

1. Auswahl einer freien Maschine

2. Auswahl von Losen in einem Zeitfenster entsprechend

$$I_j(t) = (w_j/p_j) \exp\left(\frac{-\max(d_j - p_j - t, 0)}{k \bar{p}}\right)$$

3. Bildung von Batchkombinationen

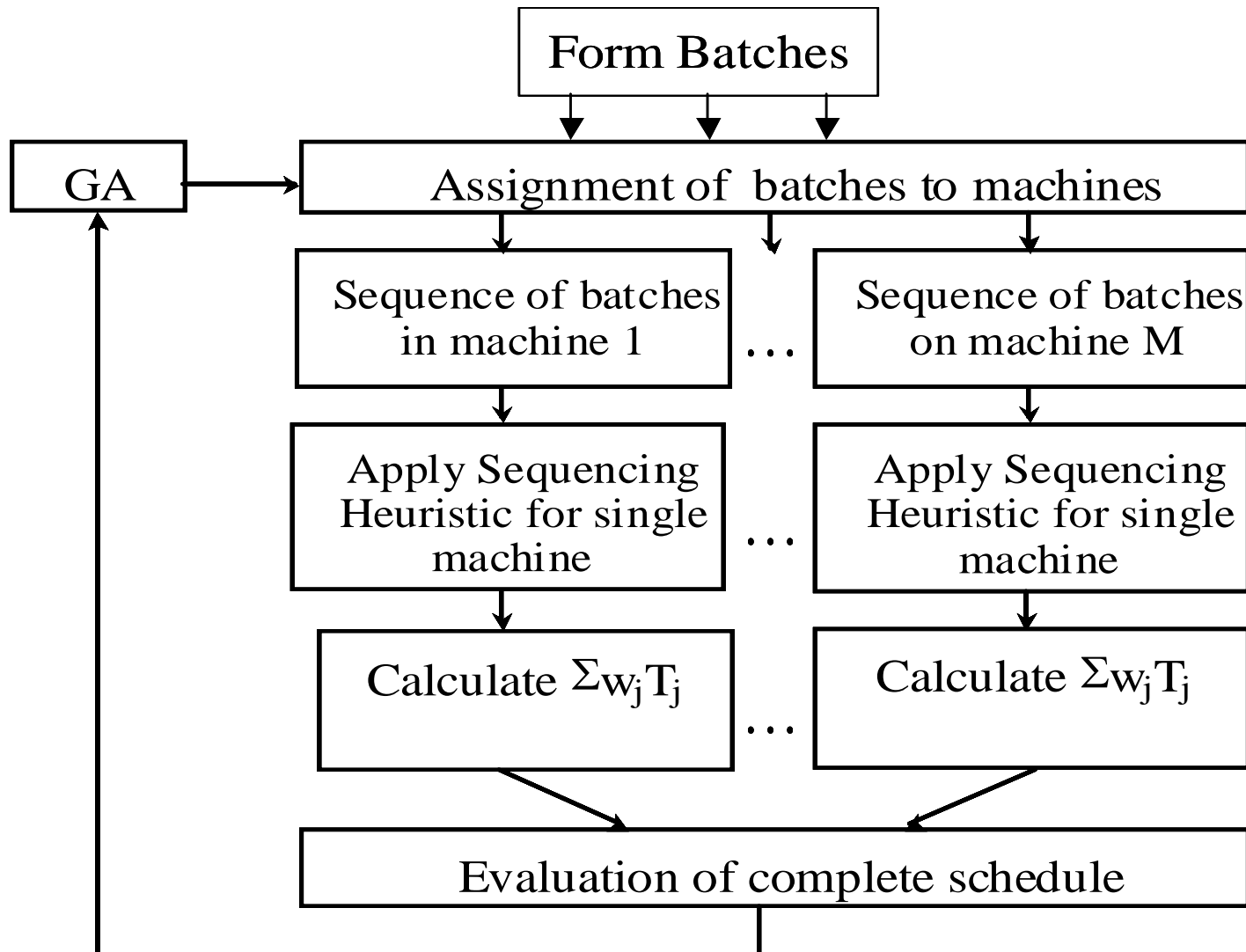
$$I_{bj2}(t) = \sum_{i=1}^{n_{bj}} \left(\frac{w_{ij}}{p_j} \right) \exp\left(\frac{-\max(d_{ij} - p_j - t + \max(r_{bj} - t, 0), 0)}{k \bar{p}}\right)$$

Heuristische Lösungsverfahren (II)

▷ Drei-Phasen-Algorithmus:

- **Phase 1:** Bildung von Batches
- **Phase 2:** Aufteilung der Batches auf die parallelen Batchmaschinen durch genetischen Algorithmus
- **Phase 3:** Festlegung der Reihenfolge der Batches auf den einzelnen Maschinen

Heuristische Lösungsverfahren (III)



Heuristische Lösungsverfahren (IV)

Ergebnisse: unterschiedliche Ankunfts- und geplante Fertigstellungszeiten

Compare	BATC-II	BATC-I	BATC-II	BATC-III	GA 2	GA 2	GA 2	GA 2
		GA 1	GA 1	GA 1	BATC-I	BATC-II	BATC-III	DTH
		BATC-I	BATC-II	BATC-III	-	-	-	-
$\alpha = 0.25, \beta = 0.25$	1.000	1.0063	0.9621	0.9934	0.9671	0.9134	0.9200	0.9285
$\alpha = 0.25, \beta = 0.50$	1.000	1.1540	0.9513	1.0708	1.1007	0.9195	0.9768	0.9255
$\alpha = 0.25, \beta = 0.75$	1.000	2.0381	0.9053	1.5738	1.9520	1.0401	1.4406	0.9486
$\alpha = 0.50, \beta = 0.25$	1.000	1.0997	0.9249	1.0592	1.0140	0.8625	0.8749	0.8594
$\alpha = 0.50, \beta = 0.50$	1.000	1.6107	0.9099	1.1794	1.2799	0.8600	0.9690	0.8352
$\alpha = 0.50, \beta = 0.75$	1.000	5.4066	0.8492	2.4557	3.8631	1.2363	2.2480	0.8317
$\alpha = 0.75, \beta = 0.25$	1.000	1.5656	0.9145	1.2172	1.2100	0.8991	0.9044	0.8826
$\alpha = 0.75, \beta = 0.50$	1.000	3.9075	0.8695	2.1534	2.1332	1.0836	1.4287	0.8978
$\alpha = 0.75, \beta = 0.75$	1.000	1.7741	0.9769	1.2183	1.0791	0.9567	1.0277	0.9817

Heuristische Lösungsverfahren (V)

▷ Entscheidungstheorie-Ansatz in **Phase 3**:

▷ **Idee:**

1. Bilde Batches unter Berücksichtigung aller noch einzuplanender Lose
2. Schätze dazu die erwartete Verspätung durch eine deterministische Vorwärtssimulation ab.

$$TWT(B_j) := \sum_{ij \in B_j} w_{ij} (t^* + p_j - d_{ij})^+ + \sum_{ki \in M - B_j} w_{ki} (C_{ki,ATC} - d_{ki})^+$$

$$t^* := \max \left(t, \max_{ij \in B_j} (r_{ij}) \right)$$

Heuristische Lösungsverfahren (VI)

Comparison	A T C - B A T C	D T H	D T H (A T C - B A T C)
Batch Size			
B = 4	1	1.2407	0.8464
B = 8	1	0.9925	0.8209
Ready Time Factor			
a = 0.25	1	0.9942	0.8488
a = 0.5	1	1.2315	0.7381
a = 0.75	1	1.1240	0.9140
Due Date Factor			
$\beta = 0.25$	1	0.9446	0.9034
$\beta = 0.5$	1	1.1430	0.9607
$\beta = 0.75$	1	1.2621	0.6369
Total			
Total	1	1.1166	0.8337

Heuristische Lösungsverfahren (VII)

▷ Von der Maschinengruppe zum vollständigen Produktionssystem:

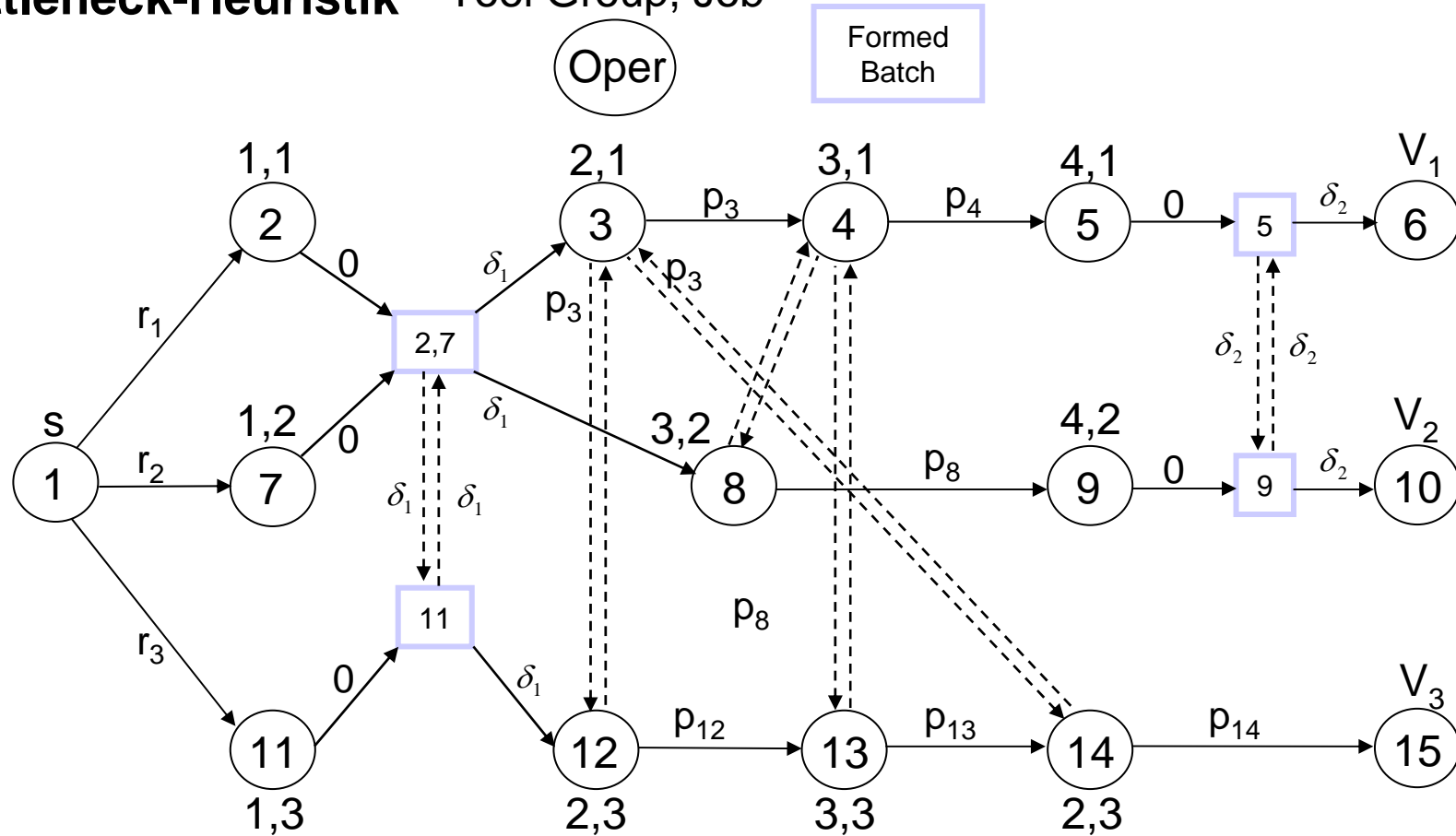
Problem: **FJm| batch, incompatible, rj, sjk, recrc|TWT**

- Modellierung durch disjunktiven Graphen + Shifting-Bottleneck-Heuristik
- Unterprobleme der Gestalt: **Pm| batch, incompatible, rj, prec|TWT**
- Modifikationen des ursprünglichen Ansatzes notwendig (GA-SSP)
- **Forschungsfragen:**
 1. Wann ist Einsatz des GA-SSP sinnvoll?
 2. Verhältnis von Rechenzeit und Lösungsqualität?
 3. Welche Parameter sind zu wählen?

Heuristische Lösungsverfahren (VIII)

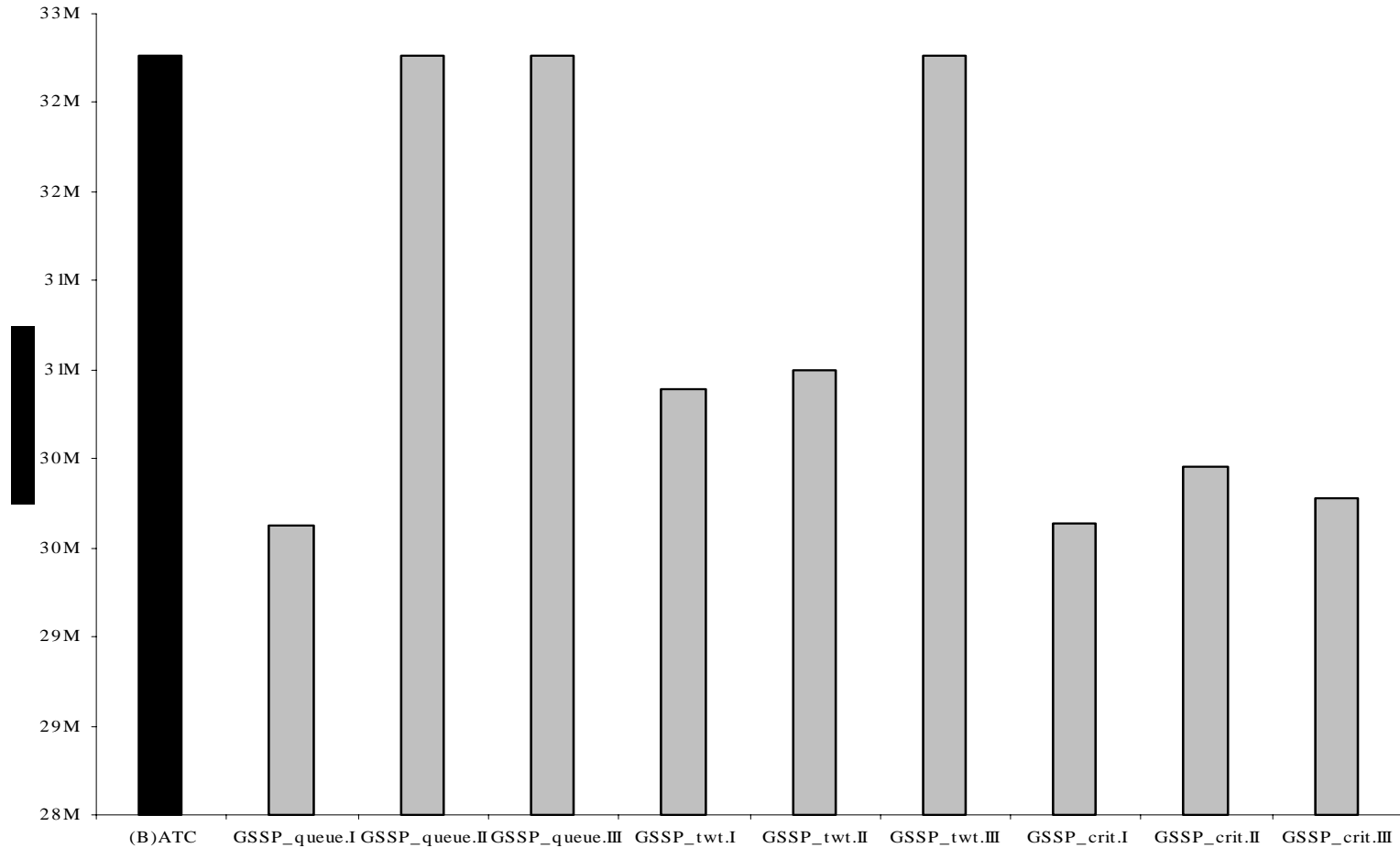
Ablaufplanungsprobleme für das gesamte Produktionssystem: **Shifting-**

Bottleneck-Heuristik Tool Group, Job



Heuristische Lösungsverfahren (IX)

▷ Ergebnisse für GA-SPP:



Heuristische Lösungsverfahren (X)

▷ Probleme:

- ▷ Modellabhängigkeit (MIMAC-Modelle, SEMATECH, INTEL....)
- ▷ Parametrisierung
- ▷ Multi-Produkt-Fall

- ▷ Paper in EJOR (2007???)

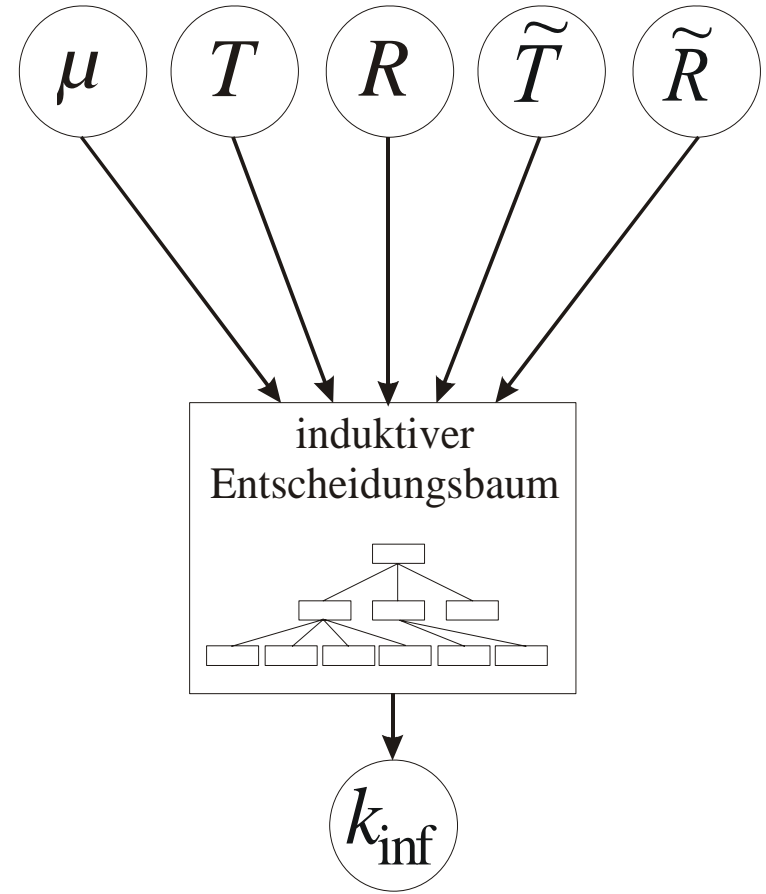
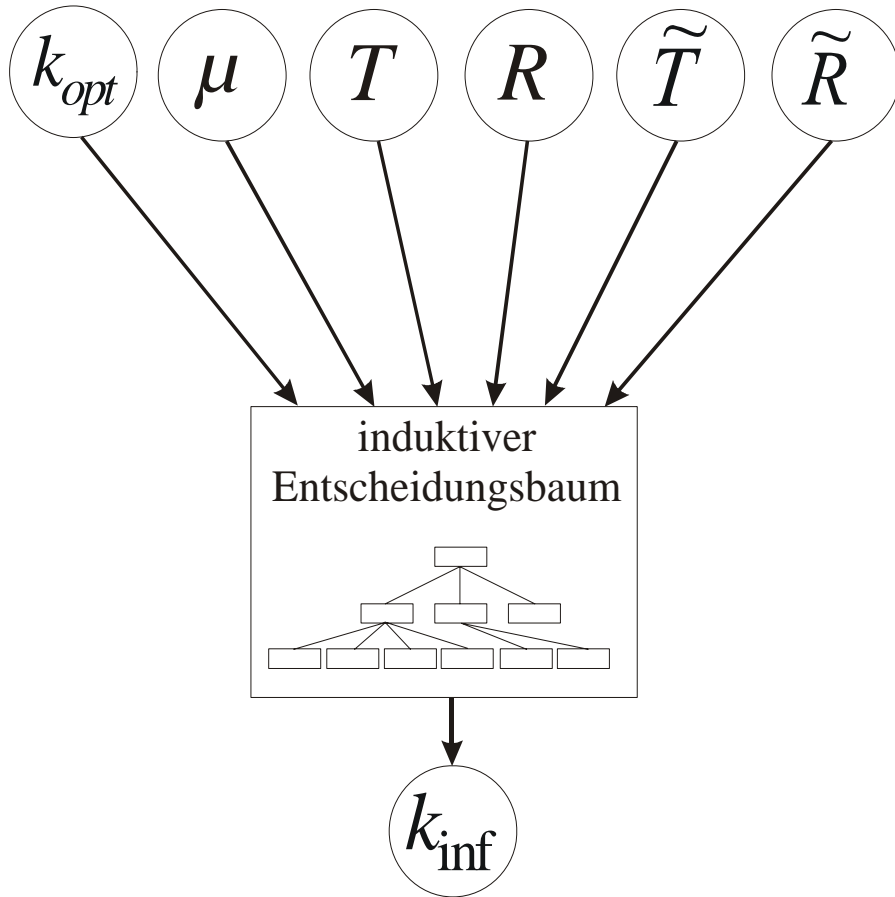
▷ Ansätze zur Parametrisierung der ATC-artigen Regeln:

$$I_j(t) = (w_j/p_j) \exp\left(\frac{-\max(d_j - p_j - t, 0)}{k \bar{p}}\right)$$

- Induktive Entscheidungsbäume
- Neuronale Netze

Heuristische Lösungsverfahren (XI)

▷ Induktive Entscheidungsbaum:



Agenda

- ▷ Problemanalyse und Modellierung
- ▷ Heuristische Lösungsverfahren
- ▷ **Simulationsbasierte Leistungsbewertung**
- ▷ Zusammenfassung und Ausblick

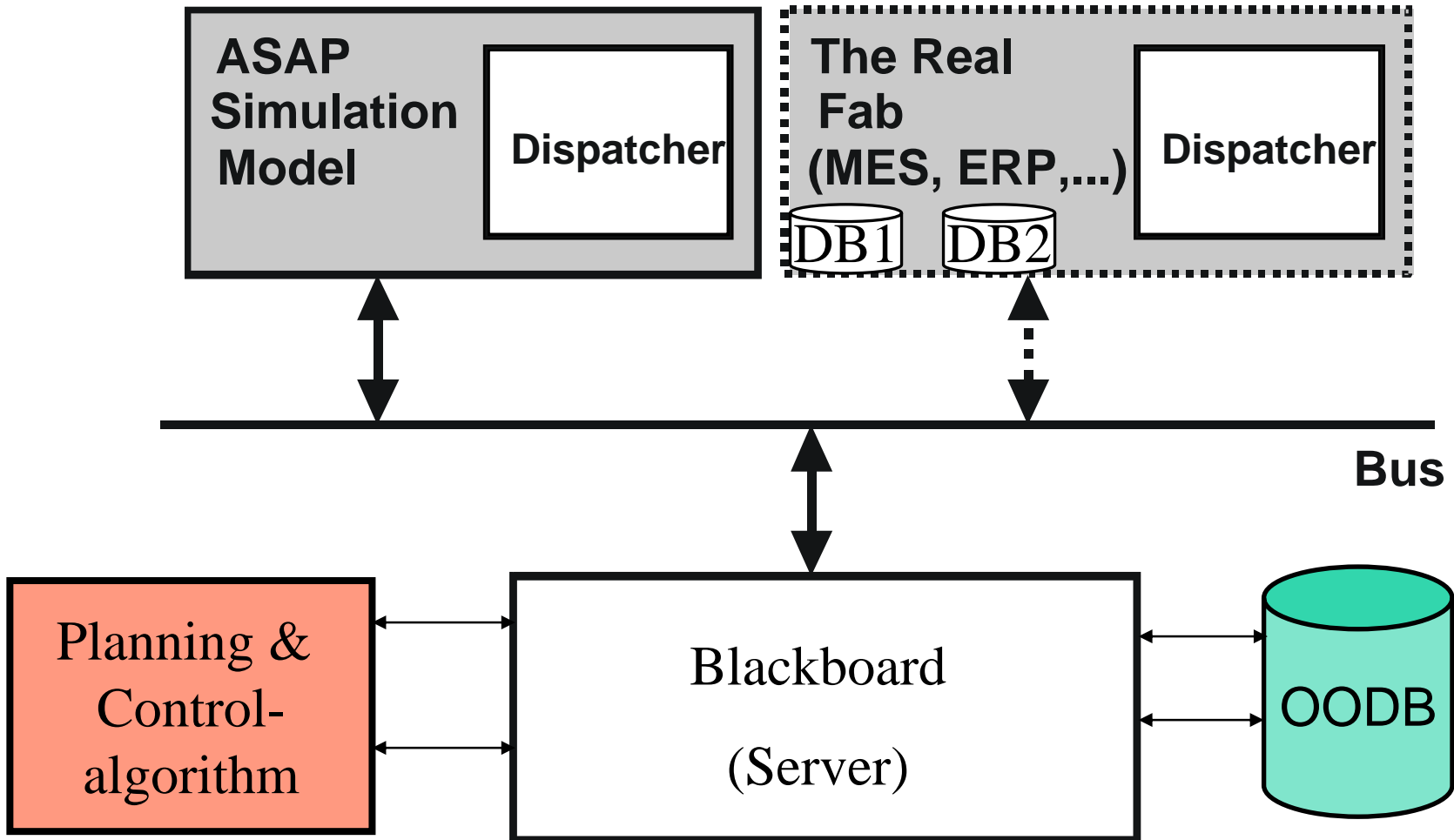
Simulationsbasierte Leistungsbewertung (I)

▷ Anwendung in drei Situationen:

- Prioritätsregelbasierte Ansätze (Stand-Alone)
- GA-basierte Ansätze (Stand-Alone)
- SBH (rollierende Anwendung)

Simulationsbasierte Leistungsbewertung (II)

Architektur einer Online-Datenschicht



Simulationsbasierte Leistungsbewertung (III)

▷ Statische und dynamische Prioritätsregeln:

Factor Combination	TWT_{total}	TP	CT
SLACK (III-I-I)	1.0000	1.0000	1.0000
DBDH (III-I-I-I)	1.0079	1.0255	0.9860
DBDH (III-I-I-II)	0.9797	1.0207	0.9689
SLACK (III-I-II)	1.0000	1.0000	1.0000
DBDH (III-I-II-I)	1.0504	1.0186	0.9864
DBDH (III-I-II-II)	1.0196	1.0175	0.9726
SLACK (III-II-I)	1.0000	1.0000	1.0000
DBDH (III-II-I-I)	0.8407	0.9624	0.9342
DBDH (III-II-I-II)	0.8391	0.9566	0.9244
SLACK (III-II-II)	1.0000	1.0000	1.0000
DBDH (III-II-II-I)	0.7843	0.9141	0.9708
DBDH (III-II-II-II)	0.7619	0.8978	0.9589

I: Anzahl Produkte

II: Produktmix

III: Gewichtsverteilung

IV: Fensterweite

Agenda

- ▷ Problemanalyse und Modellierung
- ▷ Heuristische Lösungsverfahren
- ▷ Simulationsbasierte Leistungsbewertung
- ▷ **Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassung und Ausblick

- ▷ Modellierung von Batchproblemen als IP
- ▷ Prioritätsregelbasierter Ansatz
- ▷ Dekompositionsheuristik auf Basis genetischer Algorithmen
- ▷ Einsatz im Rahmen einer modifizierten Shifting-Bottleneck-Heuristik
- ▷ Simulationsbasierte Leistungsbewertung
- ▷ **Weitere Forschungsarbeiten:**
 - (nichttriviale) untere Schranken
 - Dominanzregeln für 1|batch, incompatible, rj | TWT
 - Multikriterielle Zielsetzungen



Diskussion

