



Universität Paderborn

Neue Wege bei der Reihenfolge- und Losgrößenoptimierung unter Unsicherheit

Sven Grothklags, Ulf Lorenz, Jan Wesemann,
Daniel Warner, Frank Hellweg

Inhalt

- **Beteiligte Personen**
- **Extreme Sichten auf Produktionsplanung- und Steuerung**
- **TOPSU - Turniere zur Optimalen Planung und Steuerung von Produktionsprozessen unter Unsicherheit**
 - Ziel
 - Aufbau
 - Abläufe
 - Modellierung von Erzeugniszusammenhängen, Zeit, Unsicherheit
- **TOPSU in der Metallindustrie**

**Entstanden ist diese Arbeit aus dem Zusammentreffen
zweier Arbeitsgruppen:**

Prof. Dr. Burkhard Monien (Mathematik/Theoretische Informatik)
Dr. Ulf Lorenz
Sven Grothklags

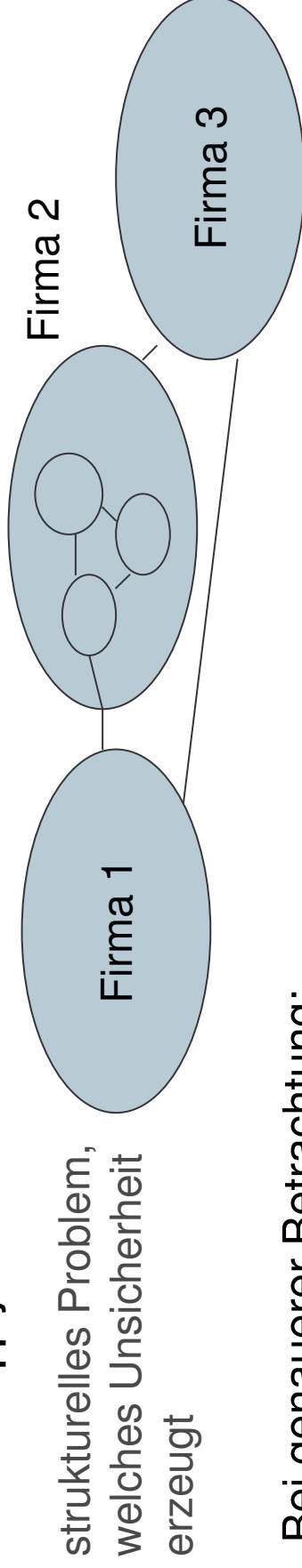
Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier (Wirtschaftsinformatik)
Jan Wesemann

Frank Hellweg, Daniel Warner (Studenten)

Eingefangene "Statements" unserer Ingenieure
(provokant: "Wir haben kein Modell")

- Es gibt einen **Status-quo**. Firmen versuchen gleichzeitig ihre **Lieferfähigkeit** zu **erhöhen** und ihre **Produktionskosten** zu senken.
- **Hereinkommende Aufträge** von Kunden **verursachen Schwierigkeiten** wegen **Bottlenecks** in der Produktion.
- **Hereinkommende Aufträge** von Kunden (**i.Allg. sich ändernde Daten**) führen dazu, dass **jeder im einen Moment optimale Plan** mit seinen bereits ausgeführten Vorgaben **Zustande induziert hat, die gar nicht mehr optimal** für die weitere Produktion sind.

- **Derzeitige Planungstools vernachlässigen** die Produktion über einen Planungshorizont hinaus. **Derzeitige Planungstools vernachlässigen** dass die geplante Produktion Teil eines **Supply Chains** sind.



Bei genauerer Betrachtung:
Kritik vorwiegend an deterministischen Annahmen, nicht am Modellgedanken an sich.

Zwei verschiedene Welten:

- Th/|Mathematische Modelle
- bilde ein Modell, das du beherrschen und kontrollieren kannst
 - Löse das Problem + wende es an

Aber: Modell \neq Realität

Planung

Abstraktion:

- künstlicher Determinismus
- man kann steuern wie geplant,
+ Plan ist vorausschauend

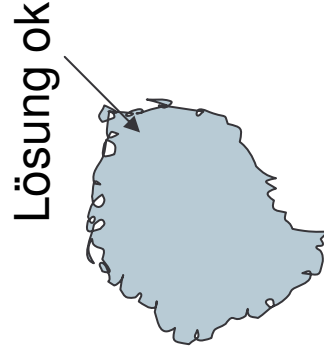
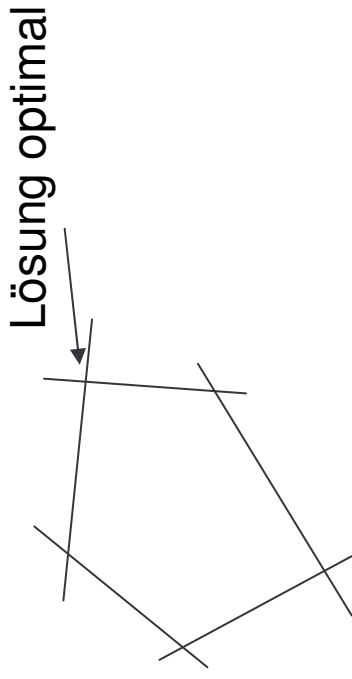
Praktiker/Ingenieur

- erstmal braucht man eine Lösung (besser gut als gar nicht)
- pragmatisch → Machine rennt zur Not bei 102%

Modellgrenzen nicht so klar

Steuerung

Abstraktion: es gibt keine Zukunft, hier und jetzt zählt.
→ kurzfristige Steuerung (offenbar im kurzfristigen Bereich erfolgreicher in der Realität.)



mathematisches Modell:
präzise, scharfkantig

Ingenieurmodell:
Grenzen nicht ganz klar

↗ **langfristig:** Planung
kurzfristig: Steuerung

aber

Das Ziel ist, Produktionsanlagen zu steuern.

Kontinuierliche, aber intelligente/vorausschauende Steuerung ist,
was wir wollen.

Ziel:

Optimale Planung und Steuerung von Produktionsprozessen unter **Unsicherheit**

O P S U

- **Wie können wir das Problem modellieren?**
- **Wie kommen wir zu neuen und besseren Verfahren als bisher?**
- **Wie können wir (neue) Algorithmen und Software experimentell bewerten?**



Ingenieure

Modelle

- mathematische
- ingenieurwissenschaftliche
- deterministische
- stochastische
- fuzzy
- für spezielle Aufgaben
- allgemeine

Informatiker

Methoden/Algorithmen

- MIP-Löser
- Heuristiken
- Meta-Heuristiken wie SA
- verteilte Verfahren

**Bewertung von
Methoden/Algorithmen**

- Beweise
- Experimente

Mathematiker

Ziel:

Optimale **P**lanung und **S**teuerung von Produktionsprozessen unter **U**nsicherheit

O **P** **S**

U

- **Wie können wir (neue) Algorithmen und Software experimentell bewerten?**

0. **Voraussetzung: Bewertung von geschehenen Abläufen**
1. **mit Hilfe von Statistik**
2. **mit Hilfe von Turnieren zur**
Optimale **P**lanung und **S**teuerung von Produktionsprozessen unter **U**nsicherheit

T O P S U

Wettbewerbsplattform / Turnierplattform: TOPSU

Sinn eines Turnierservers ist

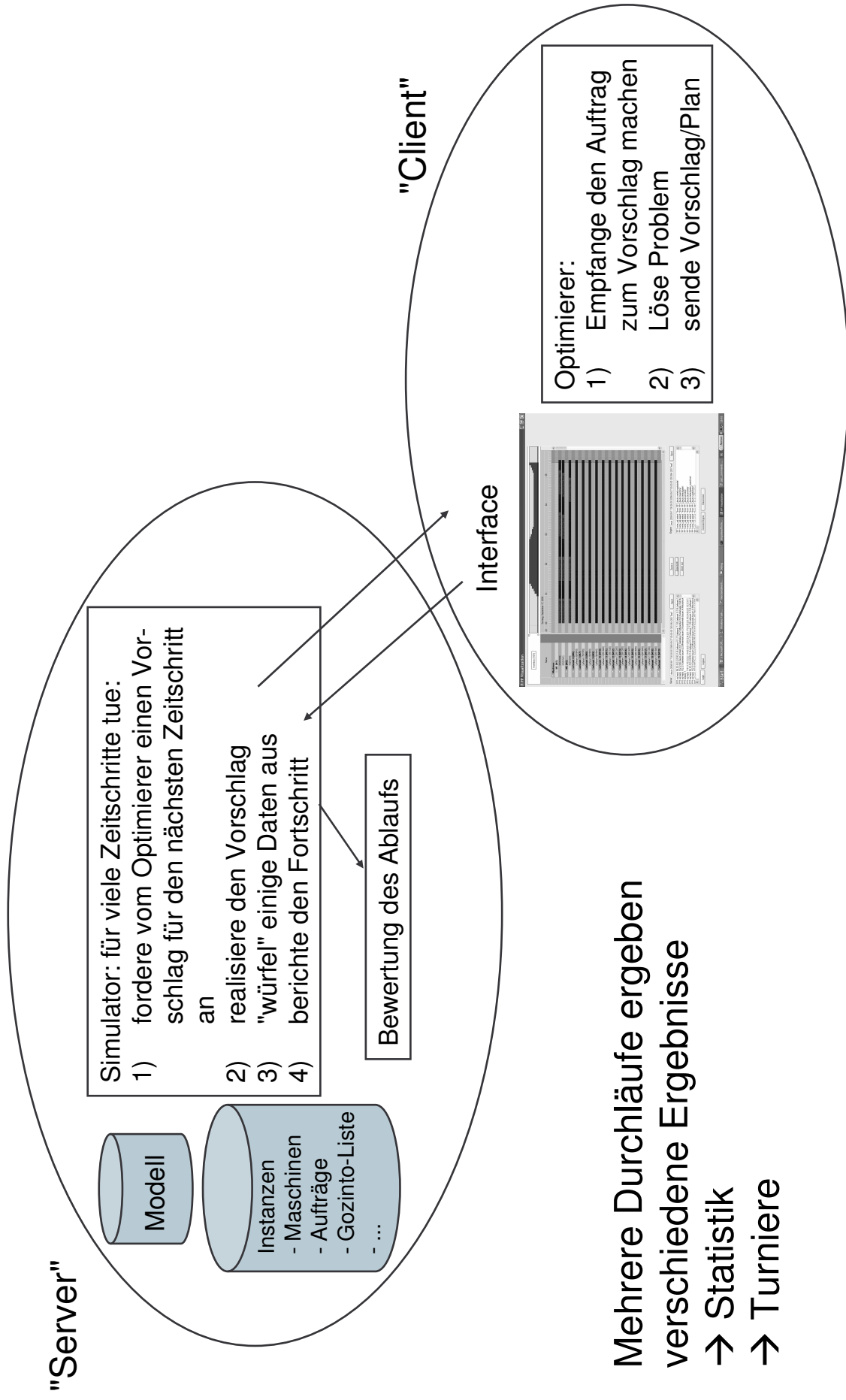
- Planungs- und Steuerungsalgorithmen für Aufgabenstellungen mit Unsicherheit miteinander **vergleichbar** zu **machen**.
- Die **Entwicklung** besserer Algorithmen mit Hilfe von **vergleichendem Wettbewerb** zu ermöglichen.

Die **Hauptidee** ist dabei, die Verantwortlichkeiten von Aufgabenstellung, Algorithmenentwicklung und Evaluation von Algorithmen und Heuristiken zu trennen. Nicht nur bzgl. der Funktionen, sondern auch bzgl. der Personen.

Bemerkung 1: TOPSU erlaubt Geheimnisschutz

Bemerkung 2: Turniere wie beim Tennis

Wettkampfsserver von TOPSU



Mehrere Durchläufe ergeben
 verschiedene Ergebnisse
 → Statistik
 → Turniere

Zusammenfassung:

TOPSU-Match: *Optimierungsverfahren* kämpfen gegen simulierte Wirklichkeit, "unter den Augen der Öffentlichkeit".

Mitwirkende:

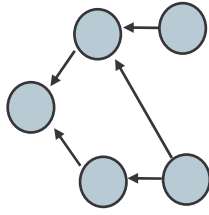
- **Lieferant** von Modell und Instanzdaten
 - Modell und Instanz gehen fließend ineinander über
- **Lieferant** von Algorithmen zur optimalen Planung und Steuerung
 - Algorithmus liefert (wie er meint) optimale Reihenfolge von Aufgaben und plant und steuert damit den Ablauf (Spiel).
Wirklichkeit folgt diesem Vorschlag "mehr oder weniger", wegen zufälliger Abweichungen.
- **TOPSU-Server**
 - Ausrichter von Wettkämpfen
 - Simulator
 - Datenserver

Ziel:

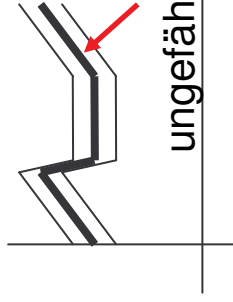
Optimale Planung und Steuerung von Produktionsprozessen unter **Unsicherheit**

O P S U

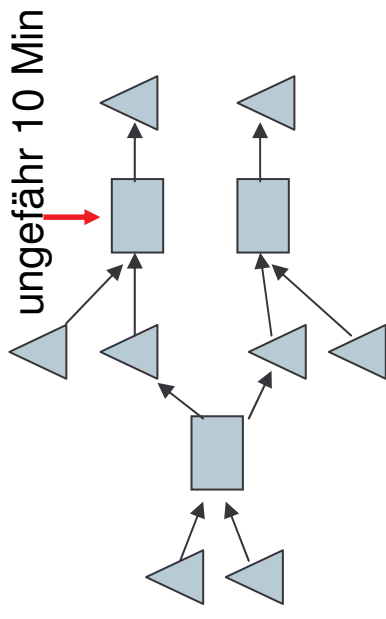
• **Wie können wir das Problem modellieren?**



Gozintograph/
Stückliste



externe, dynamische
Nachfrage



Fertigungslinie

Bemerkung: Beispiel angelehnt an Autoindustrie; Stahlindustrie später

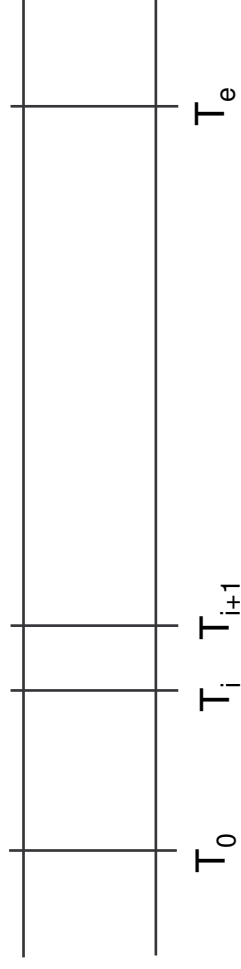
Modellierung von Produktionszusammenhängen, Zeit, Unsicherheit:

Es gibt viele Möglichkeiten, Unsicherheiten zu modellieren:

1. mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsverteilungen
 - a) Kontinuierliche Verteilungen
 - b) Diskrete Verteilungen
 - i. Komplexität: wir bleiben in PSPACE
 - ii. Algorithmen: Backtracking ähnlich wie B&B ist möglich
 - iii. Erfolgskontrolle: Wir können auf Effektivität von Algorithmen mit Hilfe von Statistik rückschließen.
2. Fuzzy Logik
3. ...

Optimierungsmodell als "Spiel gegen die Natur":

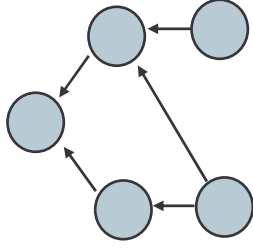
1. Spieler 1: Die Firma — optimiert ihre Produktion.
2. Spieler 2: Die Natur — "würfelt". Macht aus Verteilungen Zahlen.
3. Spiel: Zeit von T_0 bis T_e . **Nach jedem Zeitschritt T_i** , determiniert die Natur einige Daten. Dann **muss die Firma** mit einer Zuweisung von Aufgaben an Maschinen **reagieren**.
4. **Mehrstufiger Entscheidungsprozess**, aber: Jeder Pfad im Baum der möglichen Aktionen/Reaktionen muss gewissen Vorgaben folgen.



Modellierung von

Erzeugniszusammenhang, Ressource, Zeit, Unsicherheit:

- Erzeugniszusammenhang (weitgehende Einigkeit)
- **Mehrere** Erzeugnisse, **externe dynamische Nachfrage**
- **Vorgänger/Nachfolger-Beziehungen** zwischen den Erzeugnissen (Teilprodukten), azyklisches Gozinto-Netzwerk



allgemeines Gozinto-Netzwerk. Mehrere Teilprodukte werden zu einem zusammengesetzt, Ergebnis sind möglicherweise ebenfalls mehrere Teilprodukte

- Für Zukunft produzierte Gegenstände werden in **Lagern** "gespeichert".

Modellierung von

Erzeugniszusammenhang, Ressource, Zeit, Unsicherheit:

- Ressourcen
 - Aufgaben teilen sich **knappe Ressourcen**
 - **reihenfolgeabhängige Rüstzeiten** können entscheidend das Schedule beeinflussen.
 - **Parallele Maschinen**
- Zeit
 - Endlicher Horizont ist in **diskrete Perioden** eingeteilt.
 - **Lead-times** sind möglich
 - hier: "**small bucket**"
- Backlogging (BL), Stockout (SO) (technische Gründe)
 - Entscheidungsproblem ohne BL und SO ist NP-schwer.
 - Entscheidungsproblem mit BL und SO ist in P.
 - Optimierungsproblem ohne BL und SO ist NP-schwer.

Input

Brammen:

Istdaten:

Werkstoff, Dicke, Breite, Gewicht

Optimierungsaufgabe

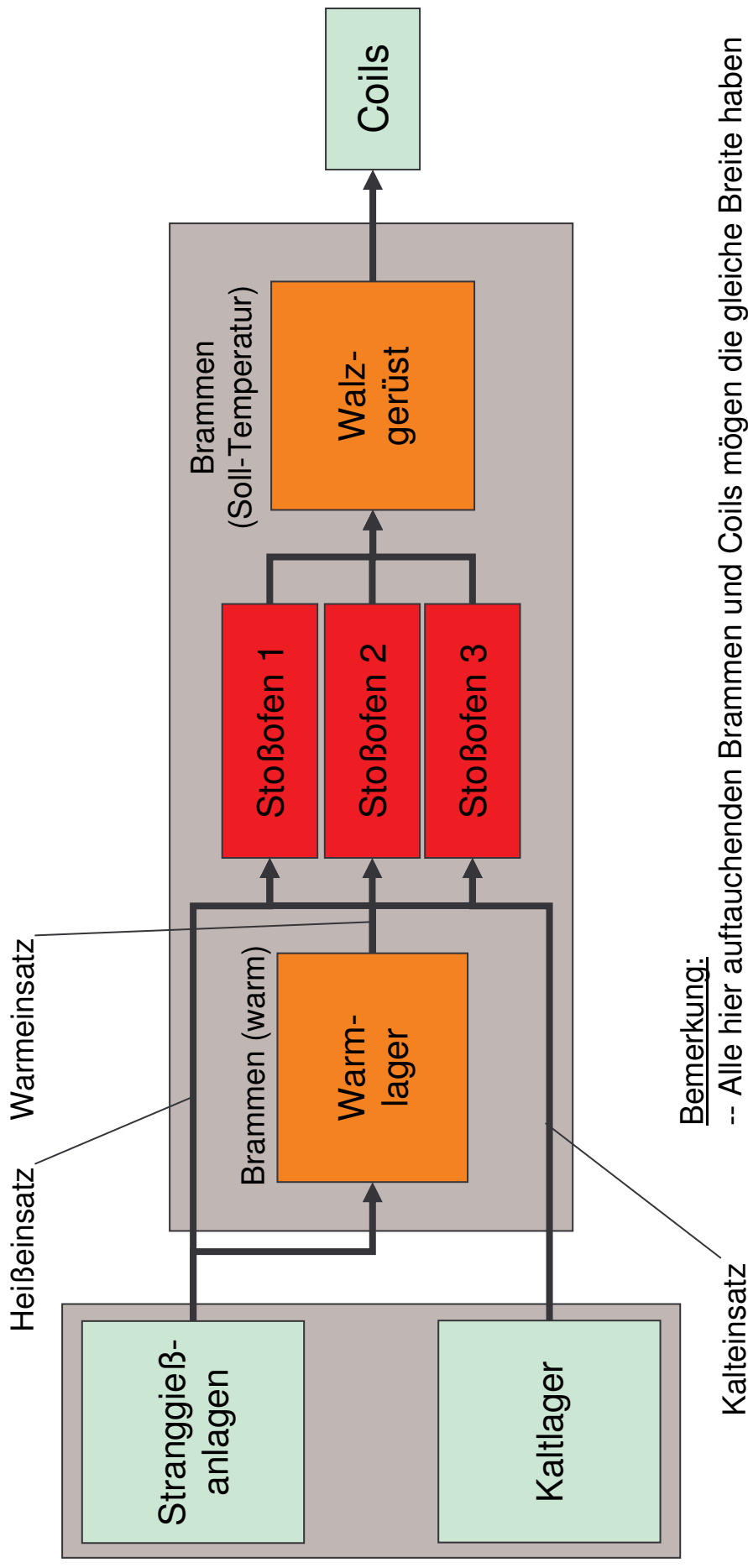
Zielfunktion:

Output

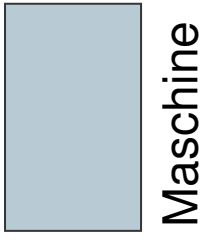
Aufträge = Coils:

Solldaten:

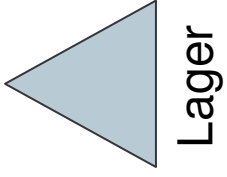
Werkstoff, Dicke, Breite, Gewicht, Lieferdatum



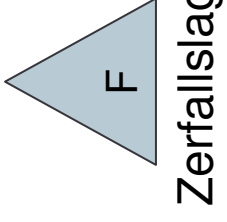
Legende:



Maschine

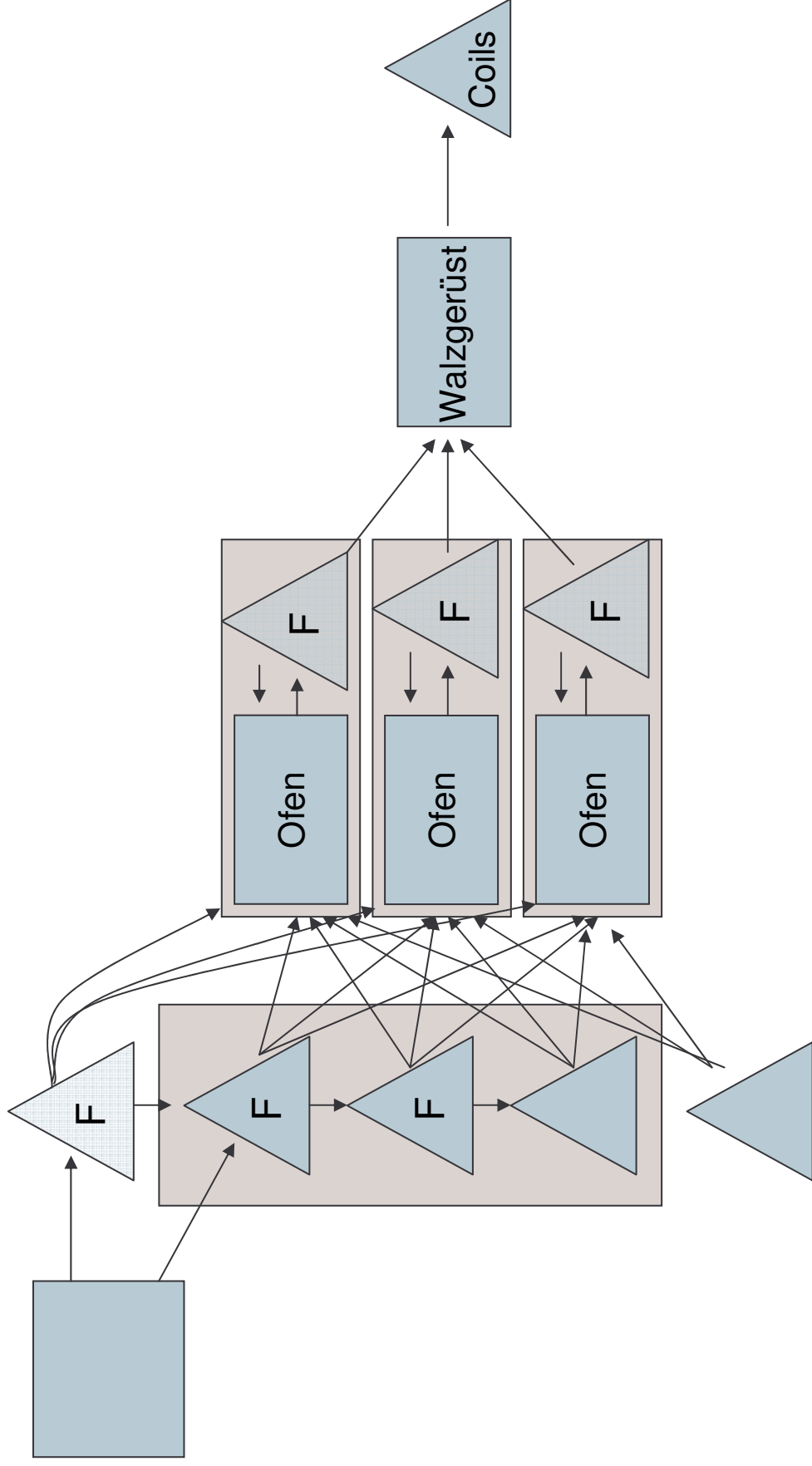


Lager



Zerfallslager

Bemerkung: Falls Transporte nötig sind: Transporter sind auch "Maschinen"



Ziel:

Optimale Planung und Steuerung von Produktionsprozessen unter **Unsicherheit**

O P S U

**Wie kommen wir zu neuen und besseren Verfahren als
bisher?**

Indem sich viele Interessierte versuchen.

Indem Anreize zu Innovation geschaffen werden.

Vision:

- Etablierung von TOPSU zur Algorithmen/Heuristiken-Evaluierung
- Universitäten liefern neue Paradigmen und Algorithmen
- Softwareanbieter liefern evaluierbare Programme
- evtl. Anbindung an ein Journal
- Anwenderindustrie fördert die Turniere und Modellbildungen
und nutzt die Ergebnisse

Status:

- Grundgerüst für TOPSU existiert.
- Projektpartner aus Stahlindustrie vervollständigt das gezeigte Modell
- Fahrzeugindustrie liefert einige Modelle und Instanzen
- Diplomarbeiten und Projektgruppen sind "angeleiert"
- mehr als Tausend Euro sind bereits für "Gewinner" zugesagt

Aktuell:

- weitere Partner gesucht für den Aufbau des Benchmarks
- weitere Algorithmuslieferanten gesucht
- weitere Sponsoren und Förderer gesucht

P Set of items
M Machines
I Items
T Tasks



Universität Paderborn

Machines needed by task i

Item produced by task i

$I_i = \{j \in I : M_j = M_i, j \neq i\}$. Set of tasks that concur with task i for the same machine.

S_p Nonnegative holding costs for one unit of item p one period in inventory.

B_p Nonnegative cost for backlogging one unit of item p one period in inventory.

O_p Stockout cost for not fulfilling the (external) demand for item p one period.

$X_{i,j}$ Nonnegative setup costs for switching from task i to machine $M_j = M_i$.

Q_i Production cost for one unit of item P_i with task i.

$D_{p,t}$ External demand for item p in period t.

$A_{p,q}$ Gozinto-factor. Zero if item q is not immediate successor of item p.

Otherwise: quantity of item p directly needed to produce one unit of item q.

$\Delta_{p,i}$ (Integral) number of periods for „transporting“ item p to machine M_i (for task i).

$C_{i,t}$ (Maximum) production quantity of item P_i with task i during period t.

$T_{i,j}$ (Fractional) number of periods for switching from task i to j.

$R_{i,j}$ Number of periods exclusively used for switching from task i to j.

$R_{i,j}^+$ Fraction of the $(R_{i,j}+1)$ th period after switching from task i to j.

used for switching

Vielen Dank

Aufmerksamkeit

minimize
$$\sum_{i=1}^T (Ss_p + Bb_p + Oo_p) + \sum_{i \in I} X_{i,j} X_{i,j,t} + \sum_{i \in I} Q_i q_{i,t}$$

$$s_{p,t-1} + \sum_{i:P_i=p} q_{i,t} - D_{p,t} - \sum_{\substack{q \in P \\ j:P_j=q}} A_{q,p} q_{j,t+\Delta_{p,j}} + b_{p,t} + o_{p,t} - b_{p,t-1} = s_{p,t}, \forall p \in P, t = 1 \dots T$$

$Y_{i,t-1}=1$	$X_{i,j,t}$ darf 0 sein	$X_{i,j,t} = 1!$
$Y_{i,t-1}=0$	$X_{i,j,t}$ darf 0 sein	$X_{i,j,t}$ darf 0 sein
	$Y_{i,t}=0$	$Y_{i,t}=1$

$$b_{p,t} + o_{p,t} - b_{p,t-1} \leq D_{p,t}, \forall p \in P, t = 1 \dots T$$

$$\sum_{i:M_i=m} Y_{i,t} = 1, \forall m \in M, t = 1 \dots T$$

$$Y_{i,t-1} + Y_{j,t} - 1 \leq X_{i,j,t}, \forall i \in I, j \in I, t = 1 \dots T$$

$$C_{i,t}(Y_{i,t} - \sum_{\substack{j \in I \\ t-R_{j,i} < t \leq t}} X_{j,i,t}) \geq q_{i,t}, \forall i \in I, t = 1 \dots T$$



$$q_{i,t} \geq 0; s_{p,t}, b_{p,t}, o_{p,t} \geq 0; X_{i,j,t}, Y_{i,t} \in \{0,1\}; \forall i \in I, \forall p \in P, t = 1 \dots T$$