

Multi-objective Robust Production Planning in Steel Manufacturing

Elmar Steiner

elmarpeter.steiner@voestalpine.com

Betreuer:

Ao.Univ.-Prof. DI Dr. Norbert Seifert
Institut für Angewandte Mathematik

16.04.2018



Produktionsplanung und -steuerung

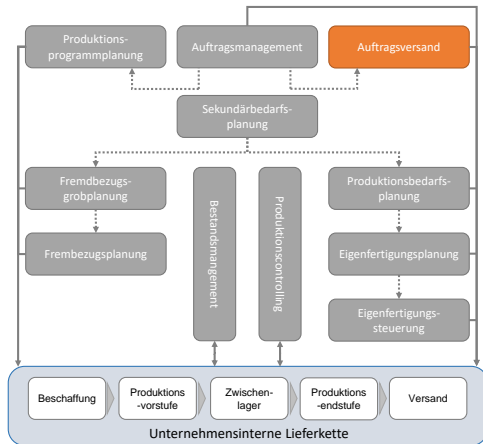


Figure: Das Hannoveraner Lieferkettenmodell [Schmidt, 2017]

Detaillierte Produktionsplanung

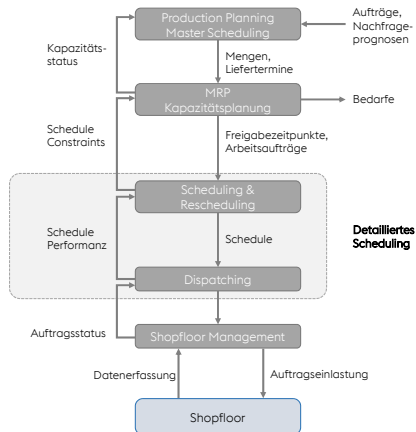


Figure: Informationsflussdiagramm in einem Fertigungssystem [Pinedo, 2008]

Advanced Planning and Scheduling Systems I

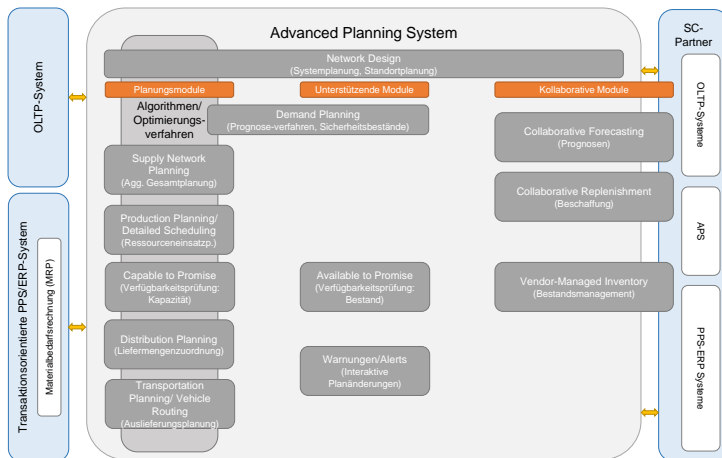


Figure: Die Grundstruktur eines Advanced Planning und Scheduling Models [Günther, 2012]

Advanced Planning and Scheduling Systems II

*"Der praktische Nutzen der APS wird auch davon abhängen, ob es gelingt, die Erkenntnisse der **quantitativ orientierten Betriebswirtschaftslehre** über die **Struktur von Planungsproblemen** in Produktion und Logistik sowie über **geeignete Lösungsstrategien** auf der Basis **problemadäquat formulierter Entscheidungsmodelle** in die Softwarelösungen einzubeziehen."* [Günther, 2012]

Herausforderungen [Lupeikiene, 2014]:

- 1 Abstraktion der Produktion (d.h. Erstellung des/der **Optimierungsmodells/e**) und die Auswahl von **geeigneten Lösungsverfahren**
- 2 Technische Konzeption eines APS als Kombination von Optimierung mit verschiedenen prädiktiven Modellen zur Erhöhung von Robustheit und Anwendbarkeit
- 3 Integration eines APS in bestehende Systeme (ERP)

Produktionsplanung in integrierter Stahlherstellung I

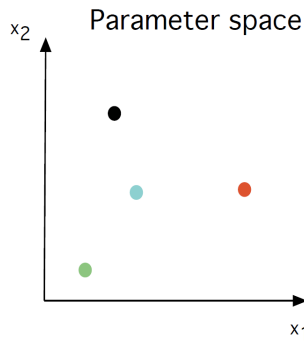
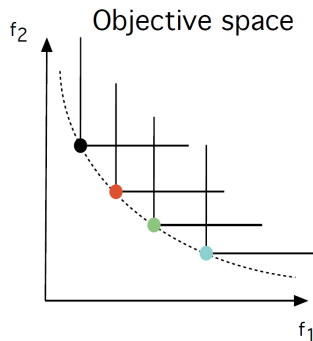
- **Partielle** Sukzessivplanung
- **Batching** von Aufträgen zu *Chargen* und Reihung (**Scheduling**)
- Zahlreiche **Nebenbedingungen** und **stochastische** Inputparameter sowie dynamischer Zielfunktionen (volatiler Prozess)
- **Multikriterielle** Optimierung bei Unmöglichkeit der Festlegung auf eine Gewichtung – *a-priori* multikriterielle Optimierung nicht praktikabel¹

¹Existierende Softwareunterstützung (z.B. *SAP APO*, *PSI Metals*) verwendet i.d.R. eine Skalierung mittels Gewichtung.

Multiobjective Optimization

Unterschiedliche Vorgehensweisen bei Mehrzieloptimierung:

- 1 A-priori Optimierung (*Skalarisierung*)
- 2 Interaktive Optimierung (*Iterative Einbindung des Entscheiders in die Suche*)
- 3 A-posteriori Optimierung (*Verwendung der Pareto-Dominanz*)



Multiobjective Scheduling I

Bei kombinatorischer *Pareto Optimierung* Verwendung von

- Exakten Verfahren (z.B. Multiobjective Branch and Bound)
- Problemspezifischen Heuristiken (z.B. konstruktive NEH-Heuristiken)
- Evolutionäre Algorithmen (z.B. NSGA-x)
- Ant Colony Optimization
- ...

sowie von

- komplexen Distanzmaßen (z.B. Levenshtein Distanz, Manhattan Distanz)
- komplexen unitäre Bewertungsmaßen (z.B. Hypervolume, IGD) für "*Paretosets*"

Multiobjective Scheduling II

Offen: (1) welches **Verfahren**² und (2) welche **Parametrisierung**?

Abhängig von der Problem Instanz hat dies Einfluss auf

- Rechenzeit
- Lösungsqualität
- Robustheit der Lösung gegen Inputvariation oder Dynamik der Zielfunktion

²vgl. *No-Free-Lunch* Theorem [Wolpert, 1997]

Algorithm Selection I

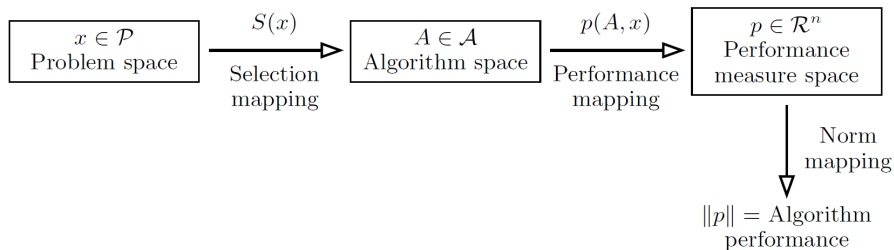


Figure: Einfaches Model für das "Algorithm Selection" Problem [Rice, 1976]

Algorithm Selection II

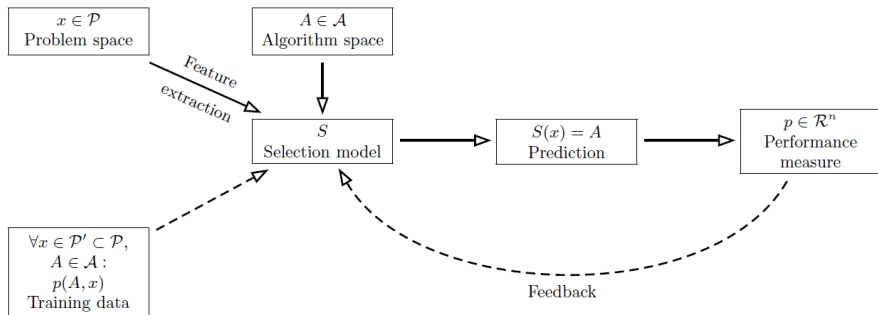


Figure: Vereinfachtes Model passend zu Herangehensweisen, welche maschinelles Lernen verwenden [Kotthoff, 2016]

Forschungslücke

Der Forschungsbereich untersucht

- die Performanz ausgewählter Algorithmen für individuelle Teilprobleme der Detailplanung
- der Einfluss der Fitness-Landschaft von Probleminstanzen auf die Verfahrenswahl
- den Einfluss ausgewählter statistischer Features auf die Parametrisierung von TSP-Probleminstanzen

Ein direkter Zusammenhang zwischen der Charakterisierung der in der Produktionsplanung auftretenden multikriteriellen Scheduling/Batching Problemen und der Auswahl sowie Parametrisierung von Verfahren aus einem Algorithmuspool wurde nicht untersucht.

Forschungsfrage

Auf Basis welcher Charakteristika - Features - der mathematischen Abstraktion von komplexen Produktionsstrukturen kann welche Verfahrenswahl für Scheduling und Batching Probleme getroffen werden?

Sub-Fragen

- 1 Welche relevanten **Charakteristika** (Zielfunktionen, Nebenbedingungen, Strukturen, Abläufe, etc.) gibt es?
- 2 Welchen **Einfluss** haben diese bei verschiedenen Zielfunktionen?
- 3 Wie lassen sich **Unsicherheit** und **Dynamik** in die Optimierung einbringen?
- 4 Wie sieht eine entsprechende algorithmische Architektur aus um die **Zielfunktionen** kombiniert (**im Sinne eines APS**) zu erfüllen?

Geplante Ergebnisse des Forschungsvorhabens

- 1 **Definition von Features**, die eine Produktionsstruktur, eine Probleminstance des Batching und Scheduling respektive, charakterisiert.
- 2 **Erstellung eines Auswahlsystems** - welches auf Basis extrahierter Features einer Probleminstance die Auswahl eines Lösungsverfahrens aus einem *Algorithmusportfolio* sowie dessen Parametrisierung ermöglicht.

Methodik I

- **Analyse der Produktionsplanung in der Stahlherstellung und -verarbeitung**
Produktionsstruktur, Betriebs- und Steuerungsstrategien bzw. Entscheidungsprozesse
- **Abstraktion und Formulierung**
sämtlicher Nebenbedingungen, Unsicherheiten, Rahmenbedingungen, Interdependenzen.
- **Ergänzung der Nebenbedingungen und Charakteristika durch Literaturrecherche**
- **Mathematische Problemformulierungen, Formulierung von Zielfunktionen**
- **Daten Management**
Erfassung und Aufbereitung (statistische Analyse) und Bereinigung existierender Daten. Sampling von Probleminstanzen für alternative Produktionsstrukturen und -steuerungsstrategien.

Methodik II

- **Entwicklung/Anpassung/Kombination von multikriteriellen Lösungsverfahren**
sowie Ermittlung einer konzeptuellen Architektur für ein Decision-Support-System
- **Implementierung**
der Optimierungsalgorithmen und prädiktiven Modelle sowie Evaluierung der Performanz und benötigten Rechenzeit
- **Postanalyse**
der Evaluierungsergebnisse hinsichtlich Zusammenhänge der Lösungsstruktur, Problemcharakteristika und Lösungsverfahren. Sensitivitätsanalyse durch Veränderung von Inputvariablen, Störungen der Zielfunktionen.
- **Ableitung eines Selektionsmodells**
für die Verfahrenswahl, welches auch für "neue" Probleminstanzen valide ist.

Danke. Fragen?

Backup

Beispiel Ameisenalgorithmus Parametrisierung I

Entscheidungsfindung bei Lösungserstellung unter anderem auf Basis nachfolgender Wahrscheinlichkeit:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_i^k} \tau_{il}(t)^\alpha \cdot \eta_{il}^\beta}$$

mit

- τ ... "Pheromon"-Intensität wird mittels weiterer Parameter gesteuert
- η ... "Heuristische"-Information, welche problemabhängig gewählt werden muss.
- α, β ... steuern Wichtigkeit von heuristischer Information und kollektiver "Erfahrung" der Kolonie.

Beispiel Ameisenalgorithmus Parametrisierung II

- η Wird u.a. in Abhängigkeit gewählt, ob die Produktionsstruktur einem Flow-Shop, Job-Shop, Openshop etc. genügt.
- Eine gute Wahl von α, β hängt von der statistischen Verteilung der heuristischen Information auf dem resultierenden Problemgraph ab.³
- Eine gute Wahl von α, β hängt von der Struktur des resultierenden Problemgraph ab (z.B. k-partitionierte Graphen).[Nallaperuma et.al., 2014][Grandl, 2017]

³Prozesszeiten in der Stahlherstellung unterliegen in der Regel einer schiefen Gauß'schen Normalverteilung, wobei die Schiefe abhängig der von Stahlgüte variiert.

Auszug Literatur I

 Hans-Otto Günther und Horst Tempelmeier (2012)

Produktion und Logistik

Springer, Heidelberg

 Matthias Schmidt und Phillipp Schäfers (2017)

Das Hannoveraner Lieferkettenmodell

www.halimo.education/

 Audrone Lupeikiene et.al. (2014)

Advanced Planning and Scheduling: Modeling and Implementation Challenges

Informatica 25(4), 581–616

 K.A. Smith-Miles (2008)

Cross-Disciplinary perspectives on meta-learning for algorithm selection

ACM Comput. Surv. 41(1)

Auszug Literatur II



Lars Kotthoff (2016)

Algorithm Selection for Combinatorial Search Problems: A Survey

Data Mining and Constraints Programming 10101, Lectur Notes in Computer Science, 149–190



Gerardo Minella et.al. (2008)

A review and evaluation of multi-objective algorithms for the flowshop scheduling problem

Inform Journal on Computing 20(3), 451–471



Ghasem Moslehi und Mehdi Mahnam (2011)

A Pareto approach to multi-objective flexible job-shop scheduling problem using particle swarm optimization and local search

International Journal of Production Economics 129(1), 14–22







Matthias Wichmann (2014)

Auftragsbasierte Belegungsplanung von Stranggießanlagen in der stahlerzeugenden Industrie

Springer Fachmedien, Wiesbaden

Auszug Literatur III

-  Michael Pinedo (2008)
Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems
Springer, New York (USA)
-  J.R. Rice (1976)
The algorithm selection problem
Advances in Computers, 15 65–118
-  D.H. Woepert und W.G. Macready (1997)
No Free Lunch Theorems for Optimization
IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1 67
-  Thomas Grandl (2017)
Search of Parameter Sets of Ant Algorithms
Bachelor Thesis, Montanuniversität Leoben

Auszug Literatur IV



Samadhi Nallaperuma et.al. (2014)

Parameter Prediction Based on Features of Evolved Instances for Ant Colony Optimization and the Traveling Salesperson Problem

International Conference on Parallel Problem Solving from Nature 100–109



Samadhi Nallaperuma et.al. (2013)

A feature-based comparison of local search and the christofides algorithm for the travelling salesperson problem

FOGA XII 147–160