

Simulationsbasiertes Entscheidungssystem für die Produktionsplanung und -steuerung in einem holzverarbeitenden Betrieb

Simulation-Based Decision System for the Production Planning and Control in a Wood Processing Company

David Stalinski, Dieter Scholz, FH Münster, Münster (Germany), dstalinski@fh-muenster.de, scholzd@fh-muenster.de

Abstract: This paper describes a solution approach for a practical planning problem in a wood processing company. The company cuts wooden boards to size and coats them with veneer and artificial foil. The production process shows a high degree of complexity. Thus, the application of simulation and optimization is necessary to implement a computer based decision support system for the production planning. A simulation model is used to realize a metaheuristic optimization approach combined with conventional scheduling algorithms. Based on the simulation model, an actualized schedule for the real production process is generated many times a day. Subsequently, the real production process is controlled following the actualized schedule. Currently, the decision support system is working on a trial operation basis in the wood processing company.

1 Einleitung

Bei der Optimierung von Maschinenbelegungen und Bearbeitungsreihenfolgen von realen Produktionsbetrieben werden häufig die folgenden (miteinander konkurrierenden) logistischen Ziele verfolgt (vgl. Lödding, 2016; Nyhuis und Wiendahl, 2012):

- Maximierung der Anlagenauslastung,
- Minimierung der Auftragsdurchlaufzeit,
- Minimierung der Rüstzeiten sowie
- Minimierung des Umlaufbestands.

Diese werden meist entsprechend ihrer jeweiligen Priorität gewichtet. Die Bestimmung dieser Zielgrößen als Bewertung für unterschiedliche Handlungsalternativen innerhalb eines Optimierungsprozesses kann allerdings sehr komplex sein und über einfache funktionale Zusammenhänge hinausgehen.

Als Lösungsansatz wird daher häufig die Simulation gewählt. Während des Optimierungsprozesses wird dabei für die Bewertung unterschiedlicher Szenarien jeweils ein Simulationsmodell durchgerechnet und als Bewertungsgrundlage verwendet. Nach der VDI 3633 Blatt 1 (VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik, 2014) sollte die Abbildungsgenauigkeit dabei nur so „detailliert wie zur Zielerfüllung erforderlich“ und „nicht so detailliert wie möglich“ sein.

Der vorliegende Beitrag ist ein Anwendungsbeitrag und behandelt einen Lösungsansatz für ein reales Planungsproblem aus einem Holzverarbeitenden Betrieb. Für die Planung und Steuerung der Produktion werden die Methoden der Simulation und der Optimierung miteinander gekoppelt, um damit den hohen Anforderungen an ein automatisiertes Entscheidungssystem gerecht zu werden. Dieses soll die Organisation optimieren und die Transparenz in der Produktion steigern (vgl. Stalinski und Scholz, 2017).

2 Problemstellung

Bei dem in diesem Beitrag betrachteten Betrieb handelt es sich um einen Systemlieferanten für die Holzverarbeitende Industrie. Die Fertigungstiefe lässt sich durch das folgende Produktportfolio charakterisieren:

- Herstellung von Beschichtungsmaterialien (Herstellung von Furnierflächen, Zuschnitt von Dekorfolien, Vinyl, usw.) in kundenspezifischen Abmessungen,
- Zuschnitt von Holzwerkstoffplatten (Span, MDF, HDF, usw.) auf kundenspezifische Abmessungen sowie
- Verleimen und Verpressen von Beschichtungsmaterialien auf Holzwerkstoffplatten in kundenspezifischen Abmessungen.

Beim Start des hier vorgestellten Forschungs- und Entwicklungsprojekts war der eigentliche Produktionsprozess bereits hochgradig automatisiert. Die Produktionsplanung und -steuerung erfolgte hingegen noch rein manuell. Das Ziel des Projekts bestand in der Implementierung eines leistungsfähigen automatischen Entscheidungssystems für die Produktionsplanung und -steuerung.

2.1 Prozessbeschreibung

Das gesamte Produktionssystem ist in Abbildung 1 als Materialflussschema dargestellt. Es besteht aus zwei Sägeanlagen, vier Pressenanlagen, dem Produktionsbereich Folie und Furnier, der Logistik sowie dem Bereich Versand.

Für die unterschiedlichen Produkte existieren unterschiedliche Materialflussalternativen. Auf der einen Seite stehen für den Prozessschritt des Verpressens je nach Materialausführung unterschiedliche Pressenanlagen zur Verfügung. Auf der anderen Seite wird nicht jeder Prozessschritt bei jedem Produkttyp benötigt. In Abbildung 2 ist dies in Form einer Produkt- und Prozessmatrix dargestellt.

Bei gleichen Rohmaterialien werden für die Sägen dabei über eine Verschnittoptimierung mehrere Bestellpositionen kundenübergreifend zu Sägeläufen zusammengefasst. Daraus resultieren in der Regel komplexe Sägelaufstrukturen, die zwar verschnittoptimiert sind, produktionstechnisch aber nur mit erhöhtem Aufwand

zu organisieren sind. Dabei besteht eine feste Zuordnung zwischen den Sägeläufen und der jeweiligen Säge, die nicht geändert werden kann.

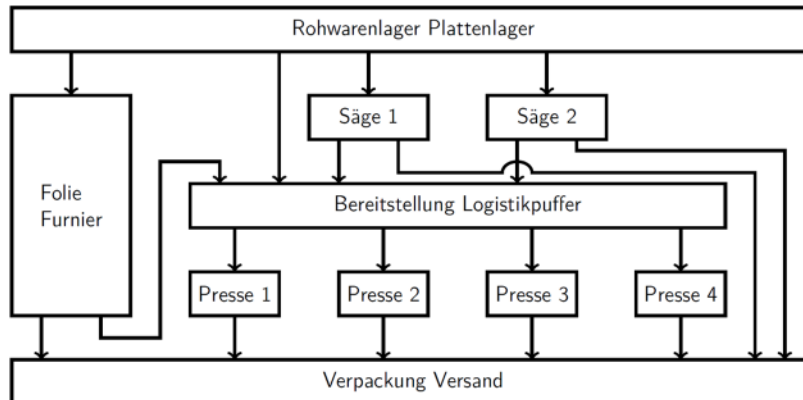


Abbildung 1: Gesamtsystem Produktion

Häufig sind die Sägeläufe strukturell gemischt und bestehen beispielsweise sowohl aus reinen Versandanteilen – Fertigungsaufträge, die nach dem Zuschnitt direkt in den Versand gehen – als auch aus Komponenten für die Weiterverarbeitung zum Verpressen.

Bei den Pressen sind reihenfolgeabhängige Rüstzeiten zwischen 15 min und 8 h zu berücksichtigen, die sowohl material- als auch anlagenabhängig sind. Ein hoher Anteil der Fertigungsaufträge kann in Abhängigkeit der Materialkomponenten an unterschiedlichen Pressen verarbeitet werden. Die Materialbereitstellung für die Pressen wird über Bereitstellungspuffer (Rollbahnen) abgewickelt. Die Holzwerkstoffplatten kommen entweder von den Sägen oder – je nach Fertigungsauftrag – direkt aus dem Rohwarenlager in die Bereitstellung.

2.2 Planungsproblem

Das Entscheidungssystem soll im Bereich der operativen Planung und Steuerung der Produktion (vgl. Günther und Tempelmeier, 2012, S. 26) Anwendung finden. Dabei sollen über einen kurzfristigen Planungshorizont

- Bearbeitungsreihenfolgen an den Sägen,
- Bearbeitungsreihenfolgen an den Pressen sowie
- Auftragszuordnungen an den Pressen

berechnet werden.

Als logistische Zielsetzung werden die folgenden zeitbasierten Bewertungsfunktionen definiert:

- Auslastung maximieren,
- Bestand minimieren,
- Rückstand minimieren,
- Rüstzeit minimieren.

Die folgenden Randbedingungen sind dabei zu berücksichtigen:

- Die Bestellvorlaufzeiten sind in der Regel sehr kurz und es treten häufig Eilbestellungen auf.
- Die Rohwarenbestände werden in der Regel gering gehalten, so dass bei der Anlieferung oder Fertigstellung von Materialien die Planung zeitnah aktualisiert werden muss.

Endprodukt	Anmerkung	Folie Furnier	Sägen	Pressen
Beschichtungsmaterial	Herstellung von Furnierflächen Zuschnitt von Folien			
Unbeschichtete Holzwerkstoffplatte	Zuschnitt von Holzwerkstoffplatten			
Beschichtete Holzwerkstoffplatte	Beschichtung von Holzwerkstoffplatten			
Beschichtete Holzwerkstoffplatte	Beschichtungsmaterialien aus eigener Produktion			
Beschichtete Holzwerkstoffplatte	Holzwerkstoffplatten aus eigenem Zuschnitt			
Beschichtete Holzwerkstoffplatte	Holzwerkstoffplatten aus eigenem Zuschnitt Beschichtungsmaterialien aus eigener Produktion			

Abbildung 2: Produktionsmatrix

Die Erfahrung zeigt, dass unter diesen Bedingungen langfristige realistische Planungen mit hohen Unsicherheiten verbunden sind. In der Praxis ist die Planung des Produktionsprozesses mit einem Zeithorizont von maximal zwei Tagen zuverlässig durchführbar.

Insgesamt muss das zu entwickelnde Entscheidungssystem den hohen betrieblichen Anforderungen genügen. Die Planung der Produktion soll autonom, periodisch und fortlaufend in einem zeitlichen Abstand von ca. 30 min innerhalb weniger Minuten an die jeweils aktuelle Situation angepasst werden. Der rollierende Planungshorizont soll dabei ca. 24 – 48 h betragen.

Es sollen ausschließlich die vorhandenen Betriebsdaten als Entscheidungsgrundlage berücksichtigt werden. Die aktuelle Ist-Situation wird dabei durch einen Datensatz aus dem ERP-System repräsentiert. Stochastische Einflüsse (z.B. zufällige Anlagenausfälle oder wahrscheinlichkeitsverteilte Prozesszeiten) sollen bei der Planung nicht berücksichtigt werden.

Das gesamte Entscheidungssystem soll hardwareseitig auf einem gewöhnlichen PC-System laufen.

3 Lösungsansatz

Das vorliegende Auftragsreihenfolge- und -zuordnungsproblem lässt sich als eine Variante des Flexible-Flow-Shop-Problems auffassen (vgl. Jaehn und Pesch, 2014, S. 104). In der nach Graham et al. (1979) eingeführten Schreibweise lässt sich das Problem näherungsweise durch die folgende Notation formulieren:

$$F7 | r_j, pmtn, prec, s_{jk} | \sum w_j T_j \quad (1)$$

Dies bedeutet, es handelt sich um ein Flow-Shop-Problem mit 7 Maschinen (F7), bei welchem die Ankunftszeiten der Aufträge an den Anlagen (r_j) berücksichtigt und die Aufträge ohne Unterbrechungen auf den Maschinen bearbeitet (pmtn) werden sollen. Weiterhin sind reihenfolgeabhängige Rüstzeiten (s_{jk}) und Vorrangbeziehungen (prec) zwischen den Fertigungsaufträgen gegeben. Vereinfacht wird die Zielgröße in dieser Notation dabei durch die Summe der gewichteten Terminüberschreitungen ($\sum w_j T_j$) ausgedrückt. In die tatsächlich angewandte Zielgrößendefinition gehen allerdings wie beschrieben zusätzlich die Anlagenauslastung, die Umlaufbestände und die Rüstzeiten mit ein.

Es handelt sich um ein NP-schweres kombinatorisches Optimierungsproblem. Bei derartigen Problemen steigt der Rechenaufwand für das Auffinden einer exakten mathematischen Lösung schneller mit wachsender Problemgröße n an, als dies durch ein beliebiges Polynom (z.B. n^5 oder n^{100}) darstellbar ist (vgl. Jaehn und Pesch, 2014). Maße für die Problemkomplexität sind u.a. die Anzahl der vorhandenen Maschinen und die Anzahl der zu planenden Fertigungsaufträge.

Eine exakte Ermittlung des Optimums ist bei NP-schweren Problemen schon bei vergleichsweise geringer Problemgröße nicht möglich, da die Problemkomplexität und damit die benötigte Rechenzeit zur Evaluierung sämtlicher Handlungsalternativen über die praktisch abbildbaren technischen Grenzen anwächst (vgl. Whitley, 2014).

Das vorliegende Problem soll durch eine Simultanplanung der Sägen und Pressen gelöst werden. Eine reine Stufenplanung (z.B. erst Planung der Sägebelegung und daraus folgend die Planung der Pressenbelegung) ist in dem vorliegenden Fall aufgrund der ausgeprägten Wechselwirkungen und der Notwendigkeit, beide Maschinengruppen möglichst gut auszulasten, nicht zweckmäßig.

Für die Lösung des Planungsproblems sind zuverlässige Daten über die jeweiligen Prozesszeiten unumgänglich. Für die Sägeanlagen liegen diese Daten (durch die Software-Lösung der Verschnittoptimierung) bereits im ERP-System vor. Für die Pressenanlagen liegen diese Daten nicht in expliziter Form im ERP-System vor. Sie werden über einen modellgestützten Ansatz aus RFID-basierten Rückmeldedaten generiert (vgl. Stalinski und Scholz, 2019).

3.1 Kopplung von Simulation und Optimierung

Für die Lösung wird ein metaheuristischer Optimierungsansatz gewählt, welcher mit konventionellen Heuristiken kombiniert wird (vgl. Stalinski und Scholz, 2018). Der Optimierungsansatz mit einer Metaheuristik wird dafür über modellbasierte Entscheidungsvariablen mit einem Simulationsmodell gekoppelt. Dieser Anwendungsfall ist angelehnt an die Kategorie D „Die Simulation ist in die

Optimierung integriert“ der VDI 3633 Blatt 12 (VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik, 2016).

Nach Law und Kelton (1997) lässt sich das entwickelte bzw. verwendete Simulationsmodell als dynamisch, deterministisch und ereignisdiskret klassifizieren. Es repräsentiert das zeitliche Verhalten des Produktionssystems (dynamisch), wobei es nicht durch zufällige bzw. stochastische Ereignisse beeinflusst wird (deterministisch) und sich die Systemzustände nur an diskreten Zeitpunkten ändern (diskret) (Rose und März, 2011).

Insbesondere der ereignisdiskrete und deterministische Ansatz der Simulation wirken sich positiv auf die Laufzeit aus, da innerhalb eines Simulationslaufes nur die entsprechenden Ereigniszeitpunkte berechnet werden müssen und für je eine Variante der Entscheidungsvariablen nur ein Simulationslauf durchgeführt wird.

Ein Ausschnitt aus dem Programmablauf des Systems ist in Abbildung 3 dargestellt. Zunächst wird über eine Software-Schnittstelle ein Datensatz mit den entsprechenden Betriebsdaten heruntergeladen. (Schritt 1)

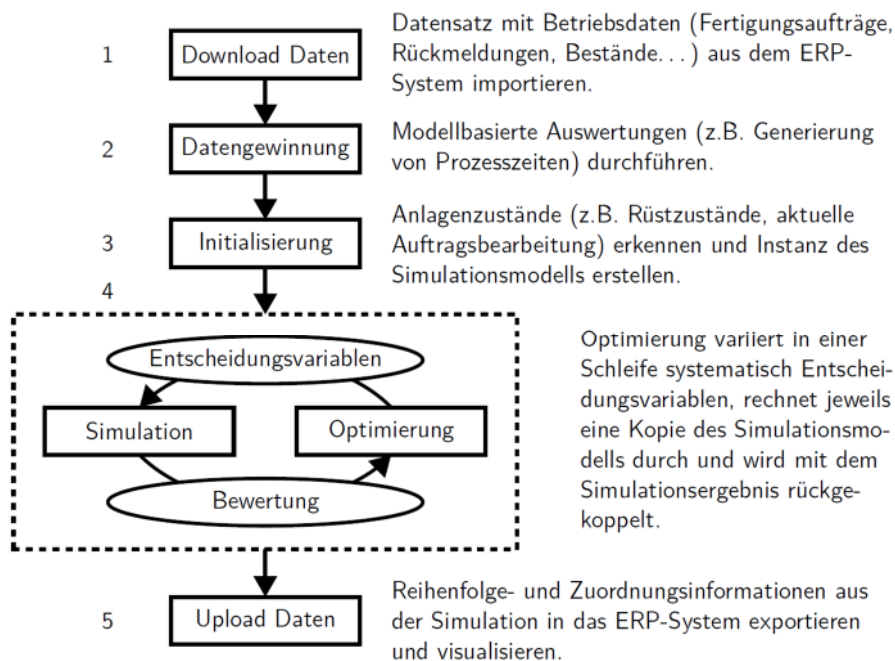


Abbildung 3: Kopplung von Simulation und Optimierung im Programmablauf

Auf Basis der vorliegenden Betriebsdaten wird ein aktueller Eingangsdatsatz erstellt, wobei insbesondere die fehlenden Prozesszeiten ermittelt werden. (Schritt 2)

Anschließend wird das Simulationsmodell instanziiert und mit den entsprechenden Startwerten initialisiert. Dies sind beispielsweise Rohwarenbestände, Logistikbestände, Auftragsfortschritte sowie die jeweiligen Rüstzustände der Pressenanlagen, die aus der modellbasierten Auswertung der Rückmeldungen ermittelt werden können. (Schritt 3)

In der Optimierungsschleife werden durch die Metaheuristik systematisch entsprechende Kombinationen der Entscheidungsvariablen generiert. Für jede dieser Kombinationen wird je ein Simulationslauf gestartet. Dabei werden realistische Vorgabezeiten für die einzelnen Arbeitsschritte angesetzt. Sämtliche anlagenspezifische Logik und alle anlagenspezifischen Abläufe werden abgebildet. Weiterhin werden die erforderlichen Rüstzeiten berücksichtigt. Die jeweilige Bestandssituation wird während des Simulationsvorgangs durch eine Materialbestandsführung aktualisiert. Aus den Ergebnissen der Simulation wird schließlich die Zielgröße ermittelt, welche als Maß für die Qualität der gefundenen Lösung dient. (Schritt 4)

Die Zielgröße wird an den Optimierer zurückgekoppelt, der über die Metaheuristik weitere Simulationsläufe des Datensatzes mit anderen Kombinationen der Entscheidungsvariablen anstößt. (Schritt 4)

Die Optimierungsschleife wird unterbrochen, sobald die Konvergenz der Zielgröße festgestellt wird oder ein zeitliches Limit überschritten wird. Anschließend werden von der gefundenen Lösung die in der Simulation festgelegten Bearbeitungsreihenfolgen und Auftragszuordnungen aus dem Simulationsmodell extrahiert und in das ERP-System exportiert. (Schritt 5)

3.2 Entscheidungsvariablen und Entscheidungslogik

Bei der Entwicklung des Simulationsmodells spielen zwei Modellierungsansätze eine wesentliche Rolle:

- Die Modellierung der Entscheidungsvariablen als Schnittstelle zu dem Optimierer, deren Ausgestaltung direkt aus dem vorliegenden Prozess resultiert (z.B. Klassifizierung von Fertigungsaufträgen nach unterschiedlichen Eigenschaften wie Rüstgruppen).
- Die Modellierung der anlagenspezifischen Handlungslogiken, welche in Abhängigkeit der Entscheidungsvariablen beeinflusst werden.

Die Modellierung der Entscheidungsvariablen an den Pressenanlagen basiert im Wesentlichen auf einer Klassifizierung der Fertigungsaufträge und deren Zuordnung zu Rüstgruppen. Die vollständige Umsetzung kann aufgrund ihres Umfangs im Rahmen dieses Beitrags nicht gezeigt werden. Die Modellierungsschritte werden daher im Folgenden am Beispiel einer Sägeanlage ausschnittsweise dargestellt. In Abbildung 4 ist ein Teil der Planungslogik für die Sägen als Programmablaufplan dargestellt.

Die Entscheidungsvariable E einer Sägeanlage kann dabei während der Simulation die Werte P, V und L annehmen. Die Werte werden durch den Optimierer vorgegeben. Während eines Simulationsdurchlaufs kann die Variable daher zu unterschiedlichen Simulationszeitpunkten unterschiedliche Werte annehmen. In Abhängigkeit dieser Werte wird die Planungslogik der Sägeanlage während der Simulation verändert.

Wenn die Sägeanlage in der Simulation einen Fertigungsauftrag bzw. einen Sägelauf fertiggestellt hat, wird der Wert ihrer Entscheidungsvariablen überprüft. Für den Fall $E = P$ wird versucht, die Pressenanlagen mit Material zu versorgen. Dafür wird zunächst überprüft, ob (in der Simulation) an einer der Pressenanlagen ein Materialbedarf vorhanden ist. Dies ist der Fall, wenn der Materialbestand an einer

Anlage einen Schwellenwert unterschreitet und die Anlage dadurch droht leerzulaufen.

Falls ein Bedarf vorhanden ist, wird anschließend überprüft, ob ein Sägelauf verfügbar ist, welcher Material für die Pressenanlage enthält und ggf. eingeplant. Ist dies nicht der Fall oder ist kein Bedarf an einer Presse vorhanden, wird überprüft, ob ein Sägelauf für den direkten Versand eingeplant werden kann.

Für den Fall $E = V$ wird ebenfalls überprüft, ob ein Sägelauf für den direkten Versand eingeplant werden kann. Falls ein entsprechender Sägelauf mit Materialverfügbarkeit vorhanden ist, wird dieser an der Sägeanlage eingeplant. Ist dies nicht der Fall, muss für diese Anlage Leerlauf eingeplant werden. Auch für den Fall $E = L$ wird für die Anlage Leerlauf eingeplant.

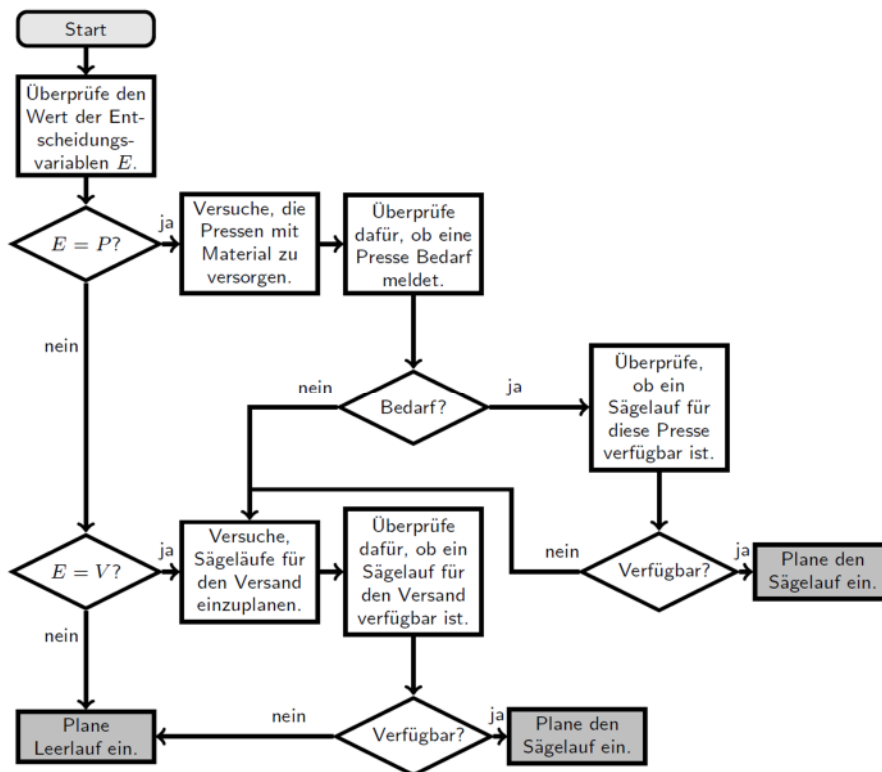


Abbildung 4: Planungslogik der Sägeanlagen

4 Ergebnisse

Das gesamte System ist in Microsoft C# .NET umgesetzt und verfügt über eine bidirektionale Schnittstelle zu dem ERP-System sowie zu einer SQL-Datenbank, die u.a. der Parametrierung des Systems dient. Das verwendete PC-System verfügt über einen Intel i3 6100 Prozessor mit 3.7 GHz und 8GB Speicher. Die Parametrierung des gesamten Systems inklusive der Simulationskomponenten erfolgt über eine

grafische Client-Anwendung, mit der die Daten für die Parametrierung in den SQL-Datenbanken erzeugt und verändert werden können.

Ein Simulationslauf benötigt eine Rechenzeit von ca. 1 – 7 ms. Die Rechenzeit hängt stark vom zugrundeliegenden Datensatz ab. Dies lässt sich auf Schwankungen in der Qualität und Quantität der jeweiligen Auftragsbestände zurückführen, welche einen wesentlichen Einfluss auf den benötigten Arbeitsspeicher und den benötigten Rechenaufwand haben.

Für die Optimierung eines Datensatzes werden im Durchschnitt ca. 40 s benötigt. Das bedeutet, dass die neue Ablaufplanung für die Produktion durchschnittlich 40 s nach Start der Berechnung zur Verfügung steht. Die Werte liegen dabei in Abhängigkeit der Datensätze im Bereich von 20 s bis 3 min. Im Mittel werden dementsprechend ca. 16000 Kombinationen der Entscheidungsvariablen mithilfe des Simulationsmodells durchgerechnet.

Als Optimierungsmodule stehen dem System sowohl eine Implementierung eines Ameisenalgorithmus als auch eine Implementierung eines genetischen Algorithmus zur Verfügung. Beide Varianten sind so implementiert, dass eine optimierte Nutzung der Rechenleistung von heutigen Mehrkern-Prozessoren möglich ist (abschnittsweise Parallelverarbeitung zur Steigerung der Recheneffizienz). Vergleiche der beiden Varianten zeigen, dass der genetische Algorithmus bei der Lösung dieses Problems bessere Ergebnisse hinsichtlich Qualität und Geschwindigkeit erreicht.

Das simulationsbasierte Entscheidungssystem ist bereits in die IT-Landschaft des Unternehmens integriert und läuft vollständig autonom in der Produktionsplanung und -steuerung. Durch die Einbindung der Produktionsmitarbeiter in die Entwicklungsphase ist die Akzeptanz für das System hoch. Es ist festzustellen, dass die Transparenz sowie die Entscheidungssicherheit in dem Betrieb durch das System erhöht werden. Durch die sehr kurze Rechenzeit (40 s) und den hohen Aufruftakt (30 min) reagiert es ausreichend schnell, um die Planung und Steuerung der Produktion flexibel an neue Situationen anzupassen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Anwendungsbeitrag wurde ein Lösungsansatz für ein reales Planungsproblem aus einem holzverarbeitenden Betrieb vorgestellt. Das zugrundeliegende Problem wurde als eine Variante des Flexible-Flow-Shop-Problems klassifiziert und in seiner Komplexität dargestellt. Die relevanten betrieblichen Prozesse und Eigenschaften wurden herausgearbeitet.

Der Lösungsansatz in Form eines Simulationsmodells, welches mit einer metaheuristischen Optimierung gekoppelt wurde, wurde dargestellt. Ein Ausschnitt der Entscheidungslogik als Teil des Simulationsmodells wurde am Beispiel einer Sägeanlage im Detail vorgestellt. Es wurde gezeigt, dass das System eine ausreichend hohe Performance und für die Praxis gute und anwendbare Ergebnisse liefert.

In der aktuellen Phase der Entwicklung sind in dem Optimierungsmodul des Systems ein Ameisenalgorithmus und ein genetischer Algorithmus implementiert. Eine Implementierung der Scatter-Search-Metaheuristik (vgl. Laguna, 2014) könnte einen weiteren Schritt darstellen. Weiterhin könnten die mit den verschiedenen

Optimierungsverfahren erzielten Ergebnisse quantitativ und detailliert bewertet und verglichen werden, um daraus eine Empfehlung abzuleiten, welches Optimierungsverfahren zukünftig für diese Anwendung bevorzugt verwendet werden sollte.

Literatur

- Graham, R. L.; Lawler, E. L.; Lenstra, J. K.; Kan, A.H.G.R.: Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling: A Survey. In: Korte, B. H. (Hrsg.); Johnson, E. L. (Hrsg.); Hammer, P. L. (Hrsg.): Discrete Optimization II Bd. 5. Amsterdam and New York and New York: Elsevier and North-Holland Pub. Co, 1979, S. 287–326.
- Günther, H.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer 2012.
- Jaehn, F.; Pesch, E.: Ablaufplanung: Einführung in Scheduling. Berlin: Springer, Gabler 2014.
- Laguna, M.: Scatter Search. In: Burke, E. K. (Hrsg.); Kendall, G. (Hrsg.): Search Methodologies. Boston, MA: Springer US, 2014, S. 119–142.
- Law, A. M.; Kelton, W. D.: Simulation modeling and analysis. 2. Edition. New York (USA): McGraw-Hill 1997.
- Lödding, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2016.
- Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 3. Aufl. 2012. Berlin, Heidelberg: Springer 2012.
- Rose, O.; März, L.: Simulation. In: März, L. (Hrsg.); Krug, W. (Hrsg.); Rose, O. (Hrsg.); Weigert, G. (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer 2011, S. 13–20.
- Stalinski, D.; Scholz, D.: Prozessoptimierung durch digitale Fertigungssteuerung: Vorstellung eines Entwicklungsprojekts an einem Fallbeispiel aus der Holzverarbeitenden Industrie. In: ZWF 112 (2017), Nr. 5, S. 301–304.
- Stalinski, D.; Scholz, D.: Prozessbegleitende Optimierung in der Produktionssteuerung: Ansatz für die Umsetzung einer praxistauglichen Selbstregelung. In: ZWF 113 (2018), Nr. 5, S. 277–280.
- Stalinski, D.; Scholz, D.: Modellbasierte Auswertung von Echtzeitdaten: Automatisierte Produktionsplanung und -steuerung in einem mittelständischen Industriebetrieb. In: Werkstatttechnik 109 (2019), Nr. 3, S. 174–178.
- VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik: VDI 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Grundlagen. 2014.
- VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik: VDI 3633 Blatt 12: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Simulation und Optimierung. 2016.
- Whitley, D.: Sharpened and Focused No Free Lunch and Complexity Theory. In: Burke, E. K. (Hrsg.); Kendall, G. (Hrsg.): Search Methodologies. Boston, MA: Springer US, 2014, S. 451–476.