

Simulationsmodell mit 3D-Animation zur schnellen Bewertung von Ablaufplänen in der Produktion

Simulation model with 3D animation for quick evaluation of production schedules

Benjamin Rolf, Tobias Reggelin, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Magdeburg (Germany), benjamin.rolf@ovgu.de, tobias.reggelin@ovgu.de
Sebastian Lang, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF,
Magdeburg (Germany), sebastian.lang@iff.fraunhofer.de
Marcel Müller, Johann Prehm, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Magdeburg (Germany), marcell.mueller@ovgu.de, johann.prehm@ovgu.de

Abstract: The paper presents a simulation case study dealing with a medium-sized company in the steel manufacturing industry. The production system of the company processes steel panels and profiles on two machines that are supplied with multiple roller conveyors and portal cranes. A special challenge is the partial return of raw material after processing that requires the reversing of the conveyors. We develop a discrete-event simulation model that is capable of testing sequences and evaluating the makespan of user-generated schedules quickly. The case study pays special attention to 3D animation of the material flow, flexible settings and ease of use even for users without simulation knowledge. The model returns a full schedule and provides key logistics indicators such as makespan and stock level. In the end we evaluate the functionality of the model with real job data provided by the company.

1 Motivation

In der stahlverarbeitenden Industrie sind die Ablauf- und Kapazitätsplanung entscheidende Faktoren, um die Auslastung der Maschinen zu maximieren und Kosten zu minimieren. Durch ereignisdiskrete Simulation soll die Planung einer neuen Fertigungslinie eines mittelständischen Unternehmens unterstützt werden. Die Planung sieht die Anschaffung von neuen Maschinen und Förderern vor und stellt für das Unternehmen eine hohe Investition dar.

Ein Simulationsmodell soll als Entscheidungshilfe in der operativen Planung eingesetzt werden und zusätzlich mögliche Engpässe und die zu erwartende Auslastung des geplanten Produktionssystems ermitteln. Die derzeitige Ablauf- und Kapazitätsplanung des Unternehmens basiert ausschließlich auf dem Erfahrungswissen der Mitarbeiter und nutzt kaum Hilfsmittel. Zukünftig soll das

Simulationsmodell dazu dienen, die von der Arbeitsvorbereitung erstellten Ablaufpläne zu visualisieren und zu validieren. Dadurch soll eine exaktere und transparentere Auftragsterminierung an die Werker übergeben werden. Außerdem können dadurch freie Kapazitäten für die Bearbeitung von Fremdaufträgen besser eingeschätzt werden.

2 Literaturanalyse

Konventionell wird ereignisdiskrete Simulation zur Entscheidungsunterstützung bei strategischen, langfristigen Entscheidungen wie der Layoutplanung oder der Prozessplanung eingesetzt. Das Simulationsmodell wird in diesem Fall für eine einmalige Anwendung im Planungsprozess entwickelt und hat danach keinen Nutzen mehr. Die Laufzeit spielt nur eine untergeordnete Rolle (Müller et al. 2019; Kasie et al. 2017; Smith 2003).

Durch stetige Verbesserung der Hard- und Software in den letzten Jahren werden Simulationsmodelle auch zunehmend in der operativen Planung in Bereichen wie Ablaufplanung, Kapazitätsplanung oder Transportplanung eingesetzt (Smith 2003). Eine geringe Laufzeit ist in diesem Fall ein entscheidender Faktor, um Entscheidungsunterstützung in Echtzeit zu ermöglichen (Müller et al. 2019; Kasie et al. 2017; Smith 2003). Laut Harmonosky und Robohn (1991) ist eine Echtzeitfähigkeit abhängig von der Zeit, die für eine Entscheidung zur Verfügung steht. Ein Modell ist echtzeitfähig, wenn die Laufzeit wesentlich geringer ist als die Zeit, in der die Entscheidung benötigt wird.

Das Hauptziel eines Echtzeit-Simulationsmodells in der Entscheidungsunterstützung ist es nicht, optimale Lösungen zu finden, sondern ein Hilfsmittel anzubieten, mit dem der Entscheider die bestmögliche Entscheidung treffen kann. Dadurch können in komplexen Systemen die Stärken von Mensch und Maschine kombiniert werden, nämlich die schnelle Datenanalyse der Simulation und die analytischen Fähigkeiten des Entscheiders (Heilala et al. 2010). Besonders wichtig ist es auch, die relevanten Informationen visuell anschaulich und übersichtlich darzustellen, um auch Anwendern mit geringen Simulationskenntnissen die Nutzung zu ermöglichen (Heilala et al. 2010; Andersson und Olsson 1998).

In der Literatur existieren bereits einige Anwendungen von ereignisdiskreten Simulationsmodellen als Entscheidungsunterstützung in Echtzeit. Kasie et al. (2017), Negahban und Smith (2014) und Smith (2003) geben einen Überblick über verschiedene Anwendungen in der Literatur. Giribone et al. (2003) präsentieren ein Simulationsmodell, mit dem wöchentliche Produktionspläne überprüft und validiert werden können. Müller et al. (2019) entwickeln ein echtzeitfähiges Simulationsmodell zur Sequenzoptimierung, Losgrößenoptimierung und Raumzuweisung für eine Industriegewerkschaft. Der Planer kann die Ergebnisse zur verbesserten Entscheidungsfindung für die tägliche Ablaufplanung verwenden. Andersson und Olsson (1998) entwickeln ein ereignisdiskretes Simulationsmodell für ein flexibles Fertigungssystem mit kundenauftragsorientierter Produktion. Durch das Modell kann abhängig vom aktuellen Systemzustand und dem Produktionsplan die Auslastung auf Tagesbasis ermittelt werden. Die Verwendung einer graphischen Benutzeroberfläche ermöglicht es, die Simulation ohne Simulationsvorkenntnisse des Anwenders durchzuführen. Die Lieferfähigkeit des Produktionssystems konnte durch die eingeführte Entscheidungshilfe erhöht werden.

3 Systembeschreibung

Die Produktion des Unternehmens aus der stahlverarbeitenden Industrie ist vollständig kundenauftragsorientiert und vor allem auf Großaufträge mit vielen Teilen ausgerichtet. Die Bearbeitung eines Auftrags kann daher mehrere Wochen dauern. Das Produktionssystem kann zwei verschiedene Arten von Rohstählen bearbeiten, nämlich Stahlbleche und Stahlprofile. Ein Auftrag besteht aus mehreren sogenannten Schachtelplänen, die jeweils geometrisch definieren, welche Teile an welcher Stelle aus einer Blechtafel bzw. aus einem Stahlprofil geschnitten werden sollen.

In diesem Beitrag wird der Material- und Produktionsfluss vom Wareneingang bis zur temporären Lagerung der Halbfabrikate betrachtet. In diesem Teilsystem befinden sich außerdem zwei Maschinen: Eine Brennerei für die Bearbeitung von Blechen und eine Säge für die Bearbeitung von Profilen. Die Komponenten des Produktionssystems sowie der Materialfluss sind in Abbildung 1 dargestellt.

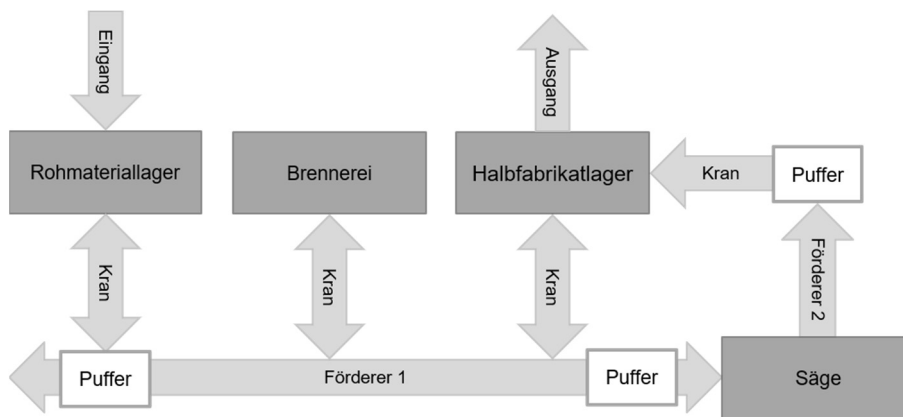


Abbildung 1: Materialfluss im Produktionssystem des Unternehmens

Über den langen Rollenförderer, der vom Außenlager bis zur Säge reicht, werden sowohl Bleche als auch Profile zu den jeweiligen Maschinen gefördert. Der Materialfluss vom Rohmateriallager, der Brennerei und dem Halbfabrikatlager zum Rollenförderer kann nur mithilfe von Portalkränen durchgeführt werden. Dazu kommen insgesamt vier Portalkräne zum Einsatz. Drei der Kräne laufen auf einer Schiene parallel zum langen Förderer, der Vierte läuft auf einer separaten Schiene im Anlieferungsbereich.

Nach der Bearbeitung durch die Brennerei bzw. die Säge entstehen Teile mit sehr unterschiedlichen Größen, die differenziert betrachtet werden müssen (siehe Tab. 1).

Tabelle 1: Teiletypen

Bleche	
Restbleche	Restbleche sind übriges Rohmaterial und müssen in das Rohmateriallager zurückgeführt werden.

Kleinteile	Kleinteile benötigen für den weiteren Transport Roste als Förderhilfsmittel, um nicht durch den Rollenförderer zu fallen.
Normalteile	Normalteile können ohne Einschränkungen transportiert werden.
Großteile	Großteile müssen ebenfalls zurückgeführt werden, da sie für den Transport auf den folgenden Rollenförderern zu breit sind.
Profile	
Restprofile	Restprofile sind übriges Rohmaterial und müssen in das Rohmateriallager zurückgeführt werden.
Teilprofile	Teilprofile können ohne Einschränkungen transportiert werden.

Eine Besonderheit in diesem Produktionssystem ist die Rückführung, bei der übrige Rohmaterialien in das Rohmateriallager zurückgeführt werden müssen. Die Rückführung findet ebenfalls über den langen Rollenförderer statt und erfordert dementsprechend eine temporäre Umkehrung der Förderrichtung. Alle Förderer und Portalkräne, die in beide Richtungen fördern können, sind als Doppelpfeile dargestellt. Die Brennerei hat keinen direkten Puffer, daher blockieren die erzeugten Halbfabrikate und die restliche Blechtafel die Brennerei solange, bis der Rollenförderer die Teile aufnehmen kann. Übrige Profile können zunächst im Halbfabrikatlager gelagert werden, um sie zu einem späteren Zeitpunkt zurückzuführen.

In diesem Produktionssystem ist vor allem eine effektive Steuerung für die Belegung des langen Rollenförderers notwendig, um Brennerei und Säge möglichst kontinuierlich mit Rohmaterial zu versorgen und gleichzeitig eine Blockierung der Maschinen durch rückzuführendes Rohmaterial zu vermeiden.

4 Konzeptionelles Modell

Das konzeptionelle Modell stellt die Grundlage für die Implementierung dar. Nach der Vorgehensweise von Robinson (2015) besteht die konzeptionelle Modellierung aus den folgenden fünf Schritten Problemverständnis, Festlegung der Projektziele, Identifikation der Eingabe- und Ausgabeparameter sowie die Definition des Modellinhalts mit Scope und Level of Detail.

Das Produktionssystem mit seinen Besonderheiten wurde bereits in Abschnitt 3 beschrieben. Hier muss vor allem der Rollenförderer als potenzieller Engpass durch Förderung von Teilen in beide Richtungen berücksichtigt werden. Das Ziel besteht darin, ein ereignisdiskretes Simulationsmodell als Echtzeit-Entscheidungsunterstützung für die Ablauf- und Kapazitätsplanung zu entwickeln. Zusätzlich wurden die folgenden Anforderungen durch das Unternehmen für die Entwicklung des Modells definiert:

1. Realitätsnahe 3D-Animation des Materialflusses
2. Einfache Bedienbarkeit für Anwender ohne Simulationskenntnisse
3. Flexible Einstellungsmöglichkeiten für das Systemverhalten

Eine realitätsnahe 3D-Animation und eine grafische Benutzeroberfläche mit anwenderfreundlichen Dialogen sind notwendig, um die Verwendung auch für Anwender ohne Simulationskenntnisse zu ermöglichen. Die Entscheidungen werden weiterhin durch den Planer getroffen und das Simulationsmodell hat eine reine Bewertungsfunktion (März und Krug 2011).

Die Eingabe- und Ausgabeparameter sind in Abbildung 2 dargestellt. Zu den Eingabeparametern zählen vor allem die Auftragsdaten mit Informationen zur Priorität, zum Material und zu den Bearbeitungszeiten. Die Priorität legt die Reihenfolge der Aufträge fest, in der diese aus dem Rohmateriallager entnommen werden. Außerdem können viele Einstellungen und Daten flexibel durch den Anwender festgelegt werden. Dazu zählen beispielsweise die Geschwindigkeiten und Aufnahmezeiten der Kräne, die Rüstzeiten der Maschinen, die Kapazitäten der Puffer, die Anlieferungszeiten im Rohmateriallager oder der Simulationszeitraum.

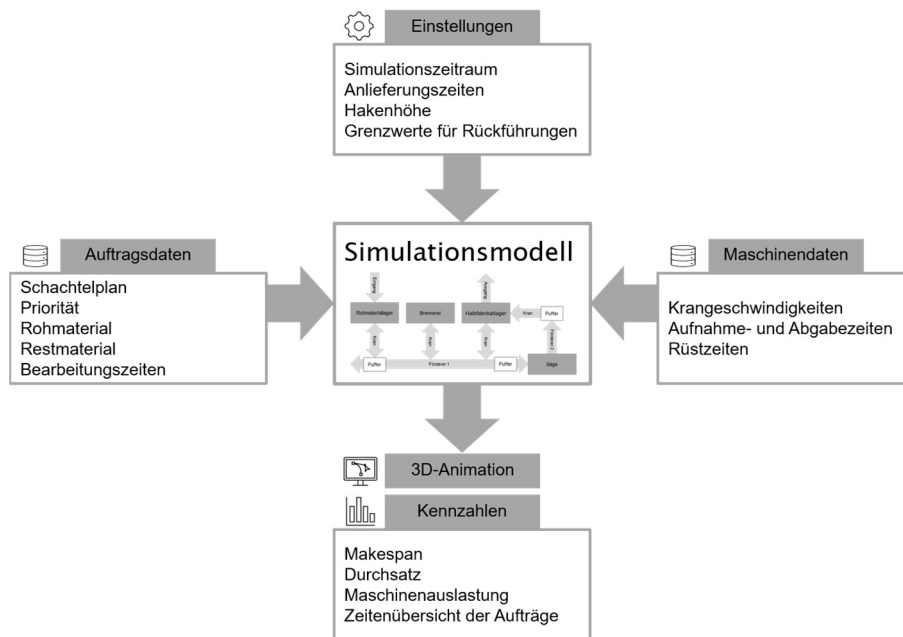


Abbildung 2: Eingaben und Ausgaben des Simulationsmodells

Die Ausgabe des Simulationsmodells besteht aus Kennzahlen zu den Maschinen und Aufträgen und der 3D-Animation. Hier liegt der Fokus auch auf dem Systemverhalten während des Simulationslaufs, um mögliche Probleme im Materialfluss durch das Erfahrungswissen des Planers frühzeitig zu erkennen. Wenn der Planer eine zufriedenstellende Auftragsreihenfolge gefunden hat, kann eine Übersicht ausgegeben werden, die für alle Aufträge das Eintreffen an bestimmten Punkten im System speichert. So kann an die Werker beispielsweise eine Übersicht übergeben werden, wann welches Rohmaterial aus dem Rohmateriallager entnommen werden muss. Dies ist wichtig, da der Transport vom Rohmateriallager bis zur Maschine durch hohe Transport- und Aufnahmezeiten des Krans bis zu eine Stunde dauern kann und im Voraus geplant werden muss.

Der Umfang des Modells umfasst den gesamten in Abbildung 1 dargestellten Bereich vom Eingang bis zum Ausgang. Beim Detailgrad wird zwischen den verschiedenen Elementen im System differenziert. Maschinen, Förderer, Portalkrane und bewegliche Elemente werden sehr detailreich dargestellt, da diese ausschlaggebend für die Einplanungsentscheidung sind. Die beiden Lager werden vereinfacht dargestellt, weil keine Informationen zu exakten Lagerplätzen des Rohmaterials bekannt sind und die Kapazitäten der Lager flexibel sind. Personalverhalten wird generell nicht berücksichtigt.

5 Implementierung

Zur Implementierung des Simulationsmodells wurde die ereignisdiskrete Simulationssoftware Tecnomatix Plant Simulation Version 15 verwendet. Das Modell ist mit einer Ausnahme ausschließlich deterministisch. Lediglich die tägliche Anlieferung im Rohmateriallager wird bei Bedarf durch eine normalverteilte Ankunft in einem definierten Zeitfenster modelliert. Das Modell benötigt für einen Simulationslauf nur wenige Sekunden und erfüllt daher die Anforderungen für den operativen Einsatz. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt des Simulationsmodells.

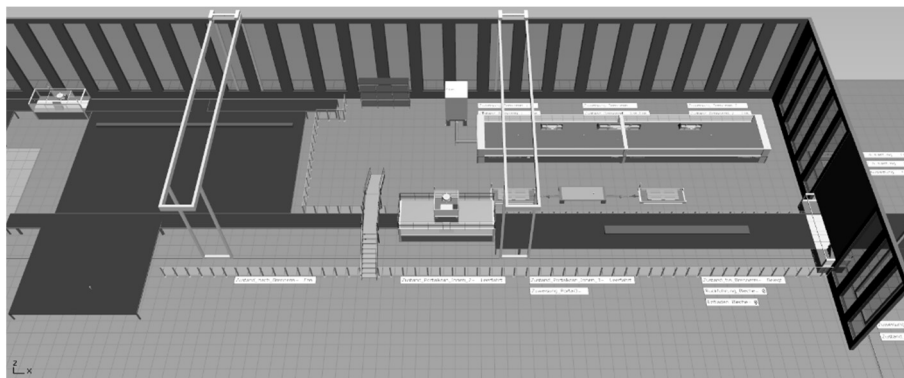


Abbildung 3: Ausschnitt des Simulationsmodells

Der Fokus der Implementierung liegt auf den in Abschnitt 4 formulierten Anforderungen. Um das Simulationsmodell für den Anwender möglichst einfach und übersichtlich zu gestalten, sind alle relevanten Daten in globalen Variablen und Tabellen gespeichert. Hier können beispielsweise Rüstzeiten, die Hakenhöhe der Krane, Grenzwerte für Rückführungen oder der Simulationszeitraum festgelegt werden. Für die Portalkrane können die Geschwindigkeit für Last- und Leerfahrt sowie die Aufnahme- und Abladezeiten für die verschiedenen Teiletypen eingegeben werden. Die eingegebenen Werte werden automatisch in das Modell übertragen und bestimmen die Attribute der beweglichen Elemente (BEs) und Materialflussobjekte.

Außerdem wurde ein Dialog zur Eingabe von Schachtelplänen konzipiert. Der Anwender kann die Auftragsdaten aus seinem ERP-System direkt in den Dialog eingeben und im Nachhinein alle eingegebenen Schachtelpläne in einer Tabelle überprüfen. Für jeden Schachtelplan wird beim Starten eines Simulationslaufs ein BE angelegt, dem die Daten des Schachtelplans wie Auftragsnummer, Abmaße des Rohmaterials oder Bearbeitungszeit als Attribute übergeben werden. Nach dem

Simulationslauf können Kennzahlen und Ergebnisse direkt in Excel exportiert werden, um diese anschließend an die Werker im realen Produktionssystem zu übergeben. Der Dialog zur Eingabe von Schachtelplänen ist in Abbildung 4 dargestellt.

Index	Auftragsnummer	Auftragstyp	Priorität	Ausgangsmaterial Länge (mm)	Ausgangsmaterial Breite (mm)
39	112	Profil	1	18000	300
1	111	Profil	1	12000	800
2	111	Profil	1	12000	800
3	111	Profil	1	12000	800
5	112	Profil	1	18000	300
6	112	Profil	1	18000	300
7	112	Profil	1	18000	300
8	112	Profil	1	18000	300
9	112	Profil	1	18000	300
10	112	Profil	1	18000	300
11	112	Profil	1	18000	300
12	112	Profil	1	18000	300
13	112	Profil	1	18000	300
14	112	Profil	1	18000	300
15	112	Profil	1	18000	300
43	21166	Blech	2	6600	1600
44	21168	Blech	2	16100	2650
45	21172	Blech	2	16100	2650
46	21173	Blech	2	12100	2500
47	21178	Blech	2	12100	2500
48	21179	Blech	2	12100	2500
49	21180	Blech	2	12100	2500
50	21181	Blech	2	12100	2500

Abbildung 4: Dialog zur Eingabe von Schachtelplänen

Im gesamten Modell befinden sich Variablen auf der Oberfläche, die für wichtige Systemelemente Zustände zur aktuellen Simulationszeit anzeigen. Für die Brennerei als zentrales Objekt des Produktionssystems werden für beide Bereiche der aktuelle Zustand und der aktuell zugewiesene Schachtelplan angezeigt. Zusätzlich sorgt ein Farbcode für eine bessere Übersicht der Zustände in der Animation.

5.1 Verifikation und Validierung

Nach Rabe et al. (2008) wurden in dieser Fallstudie die Techniken Animation, Monitoring und Validierung im Dialog verwendet. Während des gesamten Simulationsprojektes wurden alle zwei Wochen Treffen mit einem Mitarbeiter des Unternehmens durchgeführt, der mit dem realen Produktionssystem vertraut ist. In diesem regelmäßigen Treffen wurden sowohl das konzeptionelle Modell, als auch das ausführbare Simulationsmodell im aktuellen Arbeitsstand verifiziert und validiert.

Da die realitätsnahe 3D-Animation ohnehin eine Anforderung des Unternehmens ist, kann diese auch zur Verifikation und Validierung während der Implementierung verwendet werden. Dadurch konnten die zeitlichen Abläufe im System kontinuierlich beobachtet und überprüft werden. Zur Übersichtlichkeit des Modells werden auch die Zustände der Maschinen, Puffer und Portalkräne zum aktuellen Zeitpunkt auf der Oberfläche abgebildet.

5.2 Evaluation

Das Simulationsmodell wurde beispielhaft mit einem aktuellen Großauftrag des Unternehmens getestet. Dieser Auftrag besteht aus 36 Blech-Schachtelplänen. Zusätzlich wurden 42 Profil-Schachtelpläne eingestreut, um eine realistische

Arbeitslast im untersuchten Zeitraum zu erreichen. In Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die Eckdaten des Auftrags dargestellt.

Tabelle 2: Auftragsdaten der Bleche (36 Schachtelpläne)

Output [Stk.]	Bearbeitungszeiten [dd:hh:mm:ss]		
Restbleche	1	Minimum	00:00:10:07
Kleinteile	112	Maximum	00:10:48:18
Normalteile	164	Durchschnitt	00:03:09:06
Großteile	42	Summe	04:17:27:40

Tabelle 3: Auftragsdaten der Profile (42 Schachtelpläne)

Output [Stk.]	Bearbeitungszeiten [dd:hh:mm:ss]		
Restprofile	6	Minimum	00:00:10:00
Profilteile	96	Maximum	00:01:00:00
		Durchschnitt	00:00:14:45
		Summe	00:10:20:00

Der Auftrag enthält alle Teiltypen, darunter auch 1 Restblech, 42 Großteile und 6 Restprofile, die zurückgeführt werden müssen. Die Bearbeitungszeiten für Bleche sind sehr heterogen und reichen von wenigen Minuten bis zu mehreren Stunden. Die Schachtelpläne der Profile sind häufig standardisiert und haben kürzere Bearbeitungszeiten. In der Summe liegen die Bearbeitungszeiten für alle Schachtelpläne bei ca. fünf Tagen.

Alle Schachtelpläne des Auftrags müssen anfangs vom Planer manuell in das Simulationsmodell eingegeben werden, da derzeit keine Schnittstelle vorhanden ist. In Relation zur realen Produktionszeit ist dieser Aufwand jedoch gerechtfertigt, da durch einige Minuten Eingabezeit mehrere Wochen reale Produktionszeit abgebildet werden können. Sobald die Schachtelpläne einmalig eingegeben wurden, kann der Planer die Reihenfolge der Schachtelpläne durch einfaches Verändern der Auftragsindizes verändern. So lassen sich schnell unterschiedliche Szenarien simulieren. Die Erzeugung von unterschiedlichen Szenarien wurde bewusst nicht automatisiert, da durch die Komplexität des Produktionssystems ein ausgeprägtes Expertenwissen benötigt wird, um sinnvolle Reihenfolgen festzulegen. Die Planer des Unternehmens besitzen dieses Expertenwissen und nutzen das vorgestellte Simulationsmodell hauptsächlich, um Reihenfolgen zu validieren und zu visualisieren.

Außerdem erzeugt das Simulationsmodell für eingegebene Reihenfolgen einen detaillierten Ablaufplan mit Start- und Endzeiten an verschiedenen Kontrollpunkten im System. Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt aus dem durch das Simulationsmodell

generierten Ablaufplan für den Beispielauftrag. Der Ausschnitt enthält verschiedene Zeitstempel für die Bearbeitung auf der Brennerei. Dieser Ablaufplan kann von den Planern des Unternehmens an die verantwortlichen Mitarbeiter im Produktionssystem weitergegeben werden. Dadurch haben die Mitarbeiter genaue Informationen darüber, wann die Bearbeitung eines Schachtelplanes begonnen werden muss, um die Fertigstellungstermine einzuhalten und den Ablaufplan zu erfüllen. Zusätzlich gibt das Simulationsmodell Kennzahlen wie die Durchlaufzeit für jeden Auftrag oder den Makespan aus. Das Simulationsmodell gibt für den Auftrag unter Berücksichtigung aller Schichten und Transportzeiten einen Makespan von 14:02:17:00 (dd:hh:mm:ss) aus. Der Makespan ist hierbei der Zeitraum vom Ausgang des ersten BEs aus dem Rohmateriallager bis zur Ankunft des letzten BEs im Halbfabrikatlager.

Index	Auftragsnummer	Auftragstyp	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Rückführung	Ausgang Puffer	Eingang Brennerei	Beginn Bearbeitung	Ende Bearbeitung	Ende Entladen
43	1	Bleche	6500	1600	20	false	26.10.2020 08:06:03.3523	26.10.2020 08:29:56.8296	26.10.2020 08:29:56.8296	26.10.2020 10:40:45.8296	26.10.2020 11:45:22.8933
44	2	Bleche	16100	2650	10	false	26.10.2020 11:45:22.8933	26.10.2020 12:06:59.2133	26.10.2020 12:06:59.2133	26.10.2020 23:10:17.2133	27.10.2020 07:43:15.8952
45	3	Bleche	16100	2650	10	false	27.10.2020 07:43:15.8952	27.10.2020 08:04:52.6002	27.10.2020 08:04:52.6002	27.10.2020 18:23:46.6002	27.10.2020 20:34:26.7194
46	4	Bleche	12100	2500	10	false	27.10.2020 20:34:26.7194	27.10.2020 20:56:11.5583	27.10.2020 20:56:11.5583	28.10.2020 04:52:40.5583	28.10.2020 07:37:42.5922
47	5	Bleche	12100	2500	10	false	28.10.2020 07:37:42.5922	28.10.2020 07:59:27.4312	28.10.2020 07:59:27.4312	28.10.2020 10:40:30.4312	28.10.2020 12:33:12.5322
48	6	Bleche	12100	2500	10	false	28.10.2020 12:33:12.5322	28.10.2020 12:54:57.7711	28.10.2020 12:54:57.7711	28.10.2020 15:25:09.7711	28.10.2020 16:45:07.6655
49	7	Bleche	12100	2500	10	false	28.10.2020 16:45:07.6655	28.10.2020 17:06:52.5045	28.10.2020 17:06:52.5045	28.10.2020 19:30:16.5045	28.10.2020 20:47:33.2719
50	8	Bleche	12100	2500	10	false	28.10.2020 20:47:33.2719	28.10.2020 21:09:17.7358	28.10.2020 21:09:17.7358	28.10.2020 23:37:29.7358	29.10.2020 06:46:50.7674
51	9	Bleche	5050	1500	10	false	29.10.2020 06:46:50.7674	29.10.2020 07:08:49.0360	29.10.2020 07:08:49.0360	29.10.2020 07:55:15.0360	29.10.2020 08:12:39.2606
52	10	Bleche	6100	2300	25	false	29.10.2020 07:02:30.7765	29.10.2020 07:26:09.8216	29.10.2020 07:55:15.0360	29.10.2020 10:14:54.0360	29.10.2020 10:48:59.0785

Abbildung 5: Ausschnitt des Ablaufplans für den Beispielauftrag

6 Fazit und Ausblick

In dieser Fallstudie konnte das Produktionssystem eines mittelständischen Unternehmens erfolgreich in ein ereignisdiskretes Simulationsmodell übertragen werden. Das entwickelte Modell kann in der operativen Ablaufplanung als Hilfsmittel für die Entscheidungsfindung eingesetzt werden, um verschiedene Szenarien schnell und übersichtlich zu überprüfen. Durch eine realitätsnahe 3D-Animation und eine einfach gestaltete Benutzungsoberfläche profitieren auch Anwender ohne Simulationskenntnisse von diesem Modell.

Um realistische Ergebnisse zu erreichen, müssen derzeit die Daten eines jeden Schachtelplans manuell eingegeben werden. Dadurch entsteht ein Aufwand für die Auftrags eingabe. In Zukunft könnte eine Schnittstelle zum ERP-System des Unternehmens oder eine automatische Erkennung von Schachtelplänen diesen Aufwand erheblich verringern. Außerdem kann der Einsatz von simulationsbasierter Optimierung mit Methoden des maschinellen Lernens oder Metaheuristiken weiterführend untersucht werden. Durch eine Automatisierung der zurzeit größtenteils manuellen Prozesse könnte die Anwendung von Optimierungsmethoden deutlich erleichtert werden.

Literatur

Andersson, M.; Olsson, G.: A Simulation Based Decision Support Approach for Operational Capacity Planning in a Customer Order Driven Assembly Line. In: Medeiros, D.J.; Watson, E.F.; Carson, J.S.; Manivannan, M.S. (Hrsg.): Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, Washington, D.C., 13.-16.12.1998, 1998, S. 935–941.

- Giribone, P.; Mosca, R.; Queirolo, F.: Validating the Production Weekly Plan by Scheduling Simulation. In: Verbraeck, A.; Hlupic, V. (Hrsg.): Proceedings of the 15 European Simulation Symposium, 2003, S. 332–336.
- Harmonosky, C.M.; Robohn, S.F.: Real-time scheduling in computer integrated manufacturing: a review of recent research. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 4 (1991) 6, S. 331–340.
- Heilala, J.; Montonen, J.; Jarvinen, P.; Kivikunnas, S.; Maantila, M.; Sillanpaa, J.; Jokinen, T.: Developing simulation-based Decision Support Systems for customer-driven manufacturing operation planning. In: Johansson, B.; Jain, S.; Montoya-Torres, J.; Hagan, J.; Yücesann, E. (Hrsg.): Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, Baltimore, 5.-8.12.2010, 2010, S. 3363–3375.
- Kasie, F.M.; Bright, G.; Walker, A.: Decision support systems in manufacturing: a survey and future trends. *Journal of Modelling in Management* 12 (2017) 3, S. 432–454.
- März, L.; Krug, W.: Kopplung von Simulation und Optimierung. In: März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G. (Hrsg.): *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2011, S. 41–45.
- Müller, M.; Reggelin, T.; Schmidt, S.: Operational Simulation-Based Decision Support in Intralogistics Using Short-Term Forecasts. In: Kabashkin, I.; Yatskiv, I.; Prentkovskis, O. (Hrsg.): *Reliability and Statistics in Transportation and Communication*. Cham: Springer International Publishing 2019, S. 345–352.
- Negahban, A.; Smith, J.S.: Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems* 33 (2014) 2, S. 241–261.
- Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2008.
- Robinson, S.: A tutorial on conceptual modeling for simulation. In: Yilmaz, L.; Chan, W.Kin; Moon, I.-C.; Roeder, T.M. (Hrsg.): Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference, 6.-9.12.2015, 2015, S. 1820–1834.
- Smith, J.S.: Survey on the use of simulation for manufacturing system design and operation. *Journal of Manufacturing Systems* 23 (2003) 4, S. 157–171.