

Methoden und Konzepte des Digitalen Logistikzwillings der AG der Dillinger Hüttenwerke (Dillinger)

Application of a Digital Twin in Production Logistics at Dillinger (Rolling Mill)

Alexander Herzog, TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld (Germany),
alexander.herzog@tu-clausthal.de,

Jan Necil, Martin Pollet, Heike Busch, AG der Dillinger Hüttenwerke, Dillingen
(Germany), jan.necil@dillinger.biz, martin.pollet@dillinger.biz,
heike.busch@dillinger.biz

Abstract: For many optimisation problems in industrial environment, a digital twin is the appropriate tool. In this paper, the concrete challenges for planning on different time scales are described using the example of a rolling mill. Whereas on the long-term level questions arise concerning investment decisions, on the medium-term level it is a question of a product mix that is optimal in terms of yield, and on the short-term level it is a question of the optimal sequence of individual tasks. To be able to investigate these problems, various simulation models using different tools have been developed, focusing on different aspects. One of the simulation programs used is available as open source and is not limited to modelling processes in rolling mills. Therefore, the functionality of this program is discussed in detail.

1 Einführung

Die simulationsunterstützte Planung von Fabrikanlagen stellt ein in der Forschung gut durchdrungenes Gebiet dar, siehe z. B. Bracht et al. (2018). Angestrebt wird hier, die einzelnen Planungsprozesse von der Gebäudeplanung über das Produktionslayout, den Logistik- und Materialflussplänen bis hin zu der Planung der konkreten Fertigungsprozesse so gut wie möglich zu verzahnen. Dies bedeutet insbesondere, dass sich z. B. das Layout der Halle auf Basis der einzusetzenden Maschinen ergibt und die Auswahl der Maschinen wiederum auf Basis der zu fertigenden Produkte.

In vielen praktischen Anwendungsfällen besteht die Aufgabe jedoch nicht darin, eine vollständig neue Fabrik zu entwerfen, sondern Optimierungen der Produktion unter vorgegebenen Rahmenbedingungen durchzuführen. In den folgenden Überlegungen wird hierzu exemplarisch das Walzwerk von Dillinger betrachtet. Das

heute betriebene Walzwerk 2 am Standort Dillingen wurde 1971 gemäß der damaligen Nachfrage für die Produktion von großen Losen an Dickblechen und Pipeline-Blechen mit einer verhältnismäßig geringen Fertigungstiefe konzipiert. Seither ist die Fertigungstiefe stetig gestiegen, vgl. Busch (2015). So erhöhte sich die Fertigungstiefe in den vergangenen 20 Jahren um etwa 54 %. Auch die durchschnittliche Anzahl an Blechen pro Auftrag hat sich seit dem Jahr 2000 nahezu halbiert. 2020 umfassten ca. 35 % der Fertigungslose lediglich noch eine Größe von 1. Da ein vollständiger Neubau eines Walzwerkes, welches maßgeschneidert für diese neuen Anforderungen entworfen werden könnte, nicht nur aus finanziellen Erwägungen, sondern auch vor dem Hintergrund fehlender freier Flächen in der Umgebung keine Option darstellt, müssen die neuen Anforderungen so gut wie möglich in dem bestehenden Walzwerk abgebildet werden. Es können Investitionsentscheidungen zur Anschaffung bestimmter Maschinen getroffen werden, eine generelle Veränderung des Hallen-Layouts ist jedoch aufgrund der Größe und des Gewichts der zu transportierenden Bleche und der damit verbundenen Anforderungen an die Transportwege und -mittel ausgeschlossen.

Konkret werden in dem in dieser Arbeit beschriebenen Forschungsprojekt folgende Fragestellungen zur Optimierung von Durchsatz, Liefertreue und Ertrag untersucht:

- *Auftragsannahme:*
In den meisten Fertigungsprozessen ist jeder Auftrag mit einem spezifischen Ertrag und mit verschiedenen Kosten an unterschiedlichen Maschinen verbunden (Kilger 2013). Während der Ertrag leicht zu ermitteln ist, hängen die Kosten häufig von den Verarbeitungsschritten, die ein Werkstück durchläuft, ab. Werden mehrere Aufträge in dem Werk gleichzeitig bearbeitet, so können die Kosten, die an einer Maschine für einen bestimmten Auftrag entstehen, von dem gesamten Systemzustand abhängen. Erfolgt z. B. ein Erwärmvorgang in einem Ofen, so ist es von Vorteil, wenn möglichst viele gleichartige Werkstücke in direkter zeitlicher Folge bearbeitet werden, um zusätzliche Aufheiz- und Abkühlzeiten zu vermeiden. Die Frage, welche Aufträge zu welchen Preisen zu welchen Zeitpunkten anzunehmen sind, um einen maximalen Gewinn zu erzielen, kann daher nur auf Basis von dynamischen Simulationsmodellen untersucht werden (Klein und Steinhardt 2008).
- *Produktportfolio:*
Überführt man die Abwägung von Auftragsannahmen auf einen strategischen Zeithorizont, so ergibt sich die Frage nach dem zukünftig anzubietenden Produktportfolio. Während die operative Entscheidung über einzelne Aufträge die Fertigung als solches als unveränderlich annimmt, kann die Optimierung des zukünftigen Produktportfolios mit Investitionsentscheidungen gekoppelt werden.
- *Bestandsentwicklung:*
Die dynamische Simulation einer Fertigung ermöglicht es zu untersuchen, vor welchen Maschinen sich zu welchen Zeitpunkten welche Bestandsmengen ergeben werden. Bei der Analyse der Bestände muss domänenspezifisches Wissen zu den jeweiligen Werkstücken berücksichtigt werden: Während in einer Assembly-Line häufig nur Pufferrestriktionen als solches eingehalten werden müssen, führen z. B. bei der Verarbeitung von Dickblechen hohe Bestände dazu, dass die Bedienung nicht mehr in Ankunftsreihenfolge (First in first out, FIFO) erfolgen kann, sondern die wartenden Werkstücke einen Stapel bilden, auf den Werkstücke nur von oben aufgelegt und entnommen werden können (Last in first

out, LIFO). LIFO führt zu einer drastischen Steigerung des Variationskoeffizienten der Durchlaufzeiten (DLZ), vgl. Shortle et al. (2018), und damit zu einer schlechteren Vorhersagbarkeit der Liefertermine. Da im Fall des Walzwerks in Dillingen der Transport der Bleche zu einem Großteil über Hallenkräne, die jeweils für mehrere Stationen zuständig sind, erfolgt, führt ein hoher Bedarf an Kraninteraktionen an einer Station zu einer verringerten Kranverfügbarkeit an anderen Stationen.

2 Digitaler Logistik Zwilling des Walzwerks

Zur Analyse der genannten Problemstellungen wurde das Walzwerk von Dillinger in Form eines Warteschlangenmodells abgebildet und dieses Modell in zum Teil speziell für die Fragestellung entwickelten ereignisorientierten stochastischen Simulationswerkzeugen simuliert. Das Walzwerk umfasst ca. 150 Bedienstationen, an denen ca. 600 verschiedene Fertigungsschritte ausgeführt werden können. Über die jeweils auszuführenden Fertigungsschritte entscheiden dabei neben der Größe des Blechs vor allem die gewünschten Materialeigenschaften. Wenn mehrere unterschiedliche Anlagentypen für einen Fertigungsschritt genutzt werden können, müssen die jeweiligen Kosten sowie die unterschiedlichen Bearbeitungsdauern berücksichtigt werden. Eines der Ziele der Produktionsplanung besteht dabei darin, Grobbleche mit ähnlichen Anforderungen zusammen zu führen, um so eine bessere Auslastung der Anlagen zu erreichen, sowie um Zeitverluste durch Rüstzeiten der Anlagen zu vermeiden.

Zur Analyse der verschiedenen Fragestellungen wurde auf zwei Modelle, die durch verschiedenartige Reduktionen und Idealisierungen der realen Fertigung entstanden sind, zurückgegriffen:

1. In dem ersten Modell wurden 22 Stationen, die unter Berücksichtigung der Hauptmaterialströme und auch auf Basis der Relevanz der jeweiligen Station aus warteschlangentheoretischer Sicht ausgewählt wurden, abgebildet. Eine Modellstation muss dabei nicht mit einer physischen Station übereinstimmen: Verzweigungen der Materialströme können im Modell durch Stationen abgebildet werden, auch wenn hierfür in der Realität kein Aggregat notwendig ist. Umgekehrt können reale Lagerflächen und Maschinen zu einer Modellstation zusammengefasst werden. Während die Anzahl der Stationen sehr gering gewählt war, erfolgte die Ausgestaltung der Stationen insbesondere in Bezug auf den verfügbaren Stauraum sehr detailliert: Die Warteschlangenkapazität vor einer Station kann in der Realität entweder durch die Anzahl an Blechen (z. B. bei der Stapelung), durch die Fläche (z. B. auf Abkühlflächen) oder durch das Volumen der Bleche (z. B. bei Bunkerprozessen) erfolgen. Soll ein Blech zu einer Station transferiert werden, so kann geprüft werden, ob an der Zielstation in Bezug auf die jeweils relevante Größe genügend Kapazität vorhanden ist. Auf diese Weise können sehr detaillierte Analysen zu Rückstauvorgängen usw. durchgeführt werden.
2. Das zweite Modell besteht aus insgesamt 128 Modellstationen, die ebenfalls nicht deckungsgleich mit einer physischen Station müssen. Im Gegensatz zum ersten Modell wird hier nicht das gesamte Walzwerk betrachtet, sondern nur die Prozesse der Endbearbeitung. D. h. in Bezug auf die Abbildung der Stationen ist dieses Modell wesentlich detaillierter. Dafür verfügen die Stationen über weniger

Detailinformationen zu den Blechen. Ziel dieses Modelles ist es, Stoffströme in der Fertigung detailliert und zugleich auf eine sehr zugängliche Art analysieren zu können. Der abgebildete Fertigungsplan enthält 35 mögliche Prozessschritte. Die Visualisierung der Fertigung ermöglicht es, diese Schritte auf Konsistenz in Bezug auf die realen Prozesse hin zu überprüfen.

Für die konkrete Umsetzung der beiden Modelle, die gemeinsam den Digitalen Logistik Zwilling bilden, wurde auf zwei Programme, die beide auf derselben Simulationsklassenbibliothek aufbauen, zurückgegriffen. Die Bibliothek ist dabei insbesondere auf einen hohen Durchsatz an Ereignissen ausgelegt. Auf die Funktionsweise ereignisorientierter Simulation (Discrete-event simulation, DES) soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Einführungen zu dem Thema finden sich z. B. in Law und Kelton (2014), Gutenschwager et al. (2017) oder auch Waldmann und Helm (2016). Auf die für die Implementierung relevanten mathematischen Details wird u. a. in Kolonko (2008) eingegangen. An dieser Stelle sollen jedoch einige für die konkreten Fragestellungen relevanten Spezifika betrachtet werden:

2.1 Flexible Modellierung in Bezug auf die Eingabeparameter

Die Zwischenankunftszeiten am System, die Bedienzeiten usw. können in DES-Systemen prinzipiell auf zwei Arten modelliert werden: Entweder in Form von historischen Daten bzw. bekannten zukünftigen Daten über bereits angenommene Aufträge (und den daraus jeweils abgeleiteten Objektattributen der Aufträge bzw. Bleche) oder in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Während es die Nutzung von Verteilungen ermöglicht, dass das Modell experimentierfähig ist, vgl. auch Sauerbier (1999), ermöglicht die Verwendung von konkreten, bekannten Daten die exakte Voraussage der Bestände usw. auf einem kürzeren zeitlichen Horizont.

Die verwendeten Simulationswerkzeuge ermöglichen eine flexible Mischung dieser beiden Varianten, so dass für die Vorhersage von DLZ, Beständen, Lieferterminen usw. zum einen bekannte Aufträge und zum anderen über Wahrscheinlichkeitsverteilungen geschätzte Werte in der rollierenden Planung verwendet werden können. Während für die strategische Planung meist vollständig auf Verteilungsfunktionen zurückgegriffen wird, werden für die operative Planung vorrangig bekannte, konkrete Werte verwendet.

2.2 Anbindung an Data-Warehouse-Systeme

Da IoT-Sensoren mittlerweile vielfach drahtlos arbeiten, ist auch eine Nachrüstung bestehender Fertigungsanlagen, sogenanntes Retro-Fitting, häufig mit geringem Aufwand möglich, vgl. auch Butun (2020) und Kumar et al. (2020). Auf dem Werksgelände in Dillingen sind über 200.000 IoT-Sensoren und -Aktoren im Einsatz, so dass eine sehr große Menge an Rohdaten für die Erzeugung von Simulationsmodellen zur Verfügung steht. Für eine langfristig stabile Nutzung dieser Daten kommt der Art der Anbindung eine besondere Rolle zu. Da Fertigungsprozesse Veränderungen von technischer und von kaufmännischer Seite unterworfen sind, ist eine direkte statische Anbindung an bestehende Datenbanken für ein übergreifend nutzbares Werkzeug nicht zielführend. Daher wurde eine Abstraktionsschicht in Form eines Modellgenerators entworfen. In diesem sind die Namen der Datenbanken und der relevanten Spalten hinterlegt. Auf dieser Basis

können über die Java Database Connectivity (JDBC) Abfragen durchgeführt werden und die Ergebnisse über das Jakarta XML Binding (JAXB) in den Simulator übernommen werden. Damit sind die Simulationstools als solches bestmöglich von der technischen Implementierung der Datenbanksysteme abstrahiert.

2.3 Erfassung und Analyse der Kenngrößen

Während einer Simulation werden automatisch an allen Stationen nicht nur Durchschnittswerte und Streuungen, sondern auch zeitliche Verläufe erfasst, so dass eine stationäre und auch eine transiente Analyse möglich sind. Im Anschluss an eine Simulation stehen die Daten über eine grafische Oberfläche (als Texte, Tabellen und Grafiken) und auch zur maschinellen Weiterverarbeitung in Form von XML-Daten zur Verfügung. Es hat sich gezeigt, dass dieser fließende Übergang zwischen beiden Varianten für viele Nutzungsszenarien einen großen Vorteil darstellt.

3 Warteschlangensimulator

Für die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden zwei Werkzeuge, die beide auf derselben Plattform aufbauen, sich aber in der konkreten Ausgestaltung unterscheiden, verwendet.

Für die detaillierte Modellierung der Abläufe an den einzelnen Stationen (wenige Stationen, dafür mit hohem und stark domänenspezifischem Modellierungsgrad, siehe Modell 1 in Abschnitt 2) wurde ein Werkzeug entwickelt, welches exklusiv Dillinger zur Verfügung steht. Dieses besitzt, abgesehen von der Statistikanzeige, nur eine rudimentäre grafische Oberfläche. Die Stärke dieses Werkzeuges liegt in der unmittelbaren Anbindung an die Daten des Walzwerks in Dillingen. Auf dieses Werkzeug soll daher im Folgenden nicht im Detail eingegangen werden. Bei dem zweiten Programm (mit dem Modell 2 in Abschnitt 2 simuliert wurde) handelt es sich um einen als OpenSource verfügbaren ereignisorientierten stochastischen Simulator. Der Ebeneneinteilung von Gutenschwager et al. (2017) folgend handelt es sich bei dem obigen Dillinger-spezifischen Simulator um ein Werkzeug der Ebene 4 („Spezialsimulationstool, das spezifische Komponenten für ein abgegrenztes Teilgebiet eines Anwendungsbereiches enthält“). Der im Folgenden vorgestellte Warteschlangensimulator ist jedoch ein Programm der Ebene 2 („Simulationstool mit bereits implementierten allgemeinen Komponenten für beliebige Anwendungen“).

Vergleichbar mit dem Warteschlangensimulator sind z. B. AnyLogic, siehe Borshchev (2013), Rockwell Arena, siehe Kelton (2002), und ExtendSim, siehe Strickland (2013). Das Besondere dabei ist, dass es sich bei den genannten Programmen durchgängig um kostenpflichtige Closedsource-Programme handelt. Betrachtet man Swain (2017) oder Dagkakis und Heavy (2016), so stellt man fest, dass im OpenSource-Bereich fast nur Bibliotheken, auf deren Basis der Anwender selbst Simulatoren implementieren muss, zur Verfügung stehen. Der Warteschlangensimulator schließt diese Lücke: Das Programm ist kostenlos verfügbar, stellt jedoch ein direkt einsetzbares Werkzeug dar.

3.1 Programmüberblick

Eine vollständige Beschreibung der Funktionsweise des Warteschlangensimulators inkl. Modellierungsbeispielen aus Industrie und Logistik findet sich in Herzog (2021). An dieser Stelle soll nur ein kurzer Überblick über das Programm gegeben werden. Der Warteschlangensimulator ist ein plattformunabhängiges Java-Programm. Den Hauptbereich des Fensters füllt die Zeichenfläche. Auf dieser können einzelne Stationen abgelegt und verknüpft werden. Die Funktionsweise orientiert sich an den zuvor genannten Simulationswerkzeugen bzw. an vektoriiellen Zeichenprogrammen. Der Modellierungsumfang, d.h. die angebotenen Stationstypen, umfasst neben typischen Stationen wie Quellen, Bedienstationen und Senken auch Stationen für Wertzuweisungen, zur bedingungsgesteuerten Verzögerung von Kunden, zur Verzweigung, zur Batch-Bildung und -Auflösung, zum Transport und zur Daten-Ein- und -Ausgabe. Auch können in einem begrenzten Umfang zeitkontinuierliche Werte abgebildet werden. In Summe stehen mehr als 100 verschiedene Stationstypen zur Verfügung. Bei Bedienstationen können z. B. neben der jeweils notwendigen Bedienzeit auch eine Rüst- und eine Abrüstzeit angegeben werden, es kann konfiguriert werden, wie viele Bediener welcher Typen für eine Bedienung benötigt werden, welche Priorität die Station in Bezug auf eine Bedienerzuordnung erhalten soll und welche Prioritäten die einzelnen wartenden Kunden innerhalb der Station erhalten sollen.

3.2 Modellparameter

Zeitdauern können über Wahrscheinlichkeitsverteilungen oder über Rechenausdrücke definiert werden. Der Warteschlangensimulator verfügt über 30 Wahrscheinlichkeitsverteilungstypen. In Rechenausdrücken stehen neben mathematischen Funktionen insbesondere alle Systemparameter zur Verfügung. So kann die Wartezeit in nicht-linearer Weise in die Priorität eines Kunden einfließen oder aber die Warteschlangenlänge kann sich auf die Bedienzeit auswirken. Zur Ermittlung von passenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen auf Basis von Messwerten steht ein integriertes Input-Analyse-Werkzeug zur Verfügung, welches einen Abgleich der Messwerte mit insgesamt 22 verschiedenen Verteilungen vornehmen kann und die jeweils am besten passende vorschlägt. Neben der quadratischen Abweichung werden hierfür der Kolmogorov-Smirnov-, der χ^2 - und der Anderson-Darling-Anpassungstest zu Rate gezogen.

Ankünfte am System oder auch die jeweils verfügbare Anzahl an Bedienern (Schichtpläne) können optional aus externen Dateien oder auch aus Datenbanken geladen werden. Über eine konfigurierbare JDBC-Schnittstelle ist ein prinzipieller Zugriff auf beliebige Datenbanksysteme möglich.

Des Weiteren kann über Skript-Stationen direkt im Simulator nutzerdefinierter Javascript- oder Java-Code zu hinterlegen werden, der jeweils ausgeführt wird, wenn ein Kunde die entsprechende Station durchquert.

3.3 Statistikausgabe

Während einer Simulation werden sämtliche relevanten Kenngrößen automatisch erfasst, so dass keine a-priori Planung der Erfassung erfolgen muss. Im Anschluss an eine Simulation werden die Ergebnisse über die integrierte Statistikansicht angeboten. Die verfügbaren Texte, Tabellen und Grafiken können direkt über die

Zwischenablage exportiert werden und vom Simulator in Microsoft Office- und LibreOffice-Formaten gespeichert werden. Außerdem steht eine Reportgeneratorfunktion zur Verfügung, die ausgewählte Daten als docx-, pdf-, tex- oder html-Report zusammenfassen kann. Zur schnelleren Zuordnung, welche Daten sich auf welche Station beziehen, werden nach einer Simulation die zu den jeweiligen Stationen gehörenden Daten in Tooltips angezeigt und es können Kenngrößen als Heatmaps auf der Zeichenfläche visualisiert werden.

3.4 Parameterreihen und Optimierung

Mit der Parameterreihen-Funktion können basierend auf einem Ausgangsmodell ein oder mehrere Parameter in einem vorgegebenen Bereich variiert werden und es können jeweils bestimmte Ausgabeparameter ausgegeben werden. Auf diese Weise ist es mit minimalem Aufwand möglich, ein Verständnis über verschiedene Zusammenhänge zu gewinnen. Neben der Erhebung von Daten in einem bestimmten Parameterbereich steht auch eine Optimierungsfunktion zur Verfügung, die versucht mit so wenig wie möglichen Simulationsläufen einen bestimmten Zielwert für eine bestimmte Kenngrößen optional unter Einhaltung von Nebenbedingungen zu erreichen. Für die Optimierung stehen neben klassischen Hill-Climbing-Algorithmen (unter Verwendung von Tabu-Suche) auch Genetische Algorithmen zur Verfügung (Papageorgiou 2015).

3.5 Animationen

In der auf die Einbindung von Simulationssystemen in industrielle Prozesse ausgerichteten Literatur, z. B. Wenzel et al. (2007), Arnold und Furmans (2005) und Sauerbier (1999), wird wiederholt darauf hingewiesen, dass Simulationsergebnisse nicht nur korrekt sein müssen, sondern auch akzeptiert werden müssen. Die Animation von Modellen trägt in vielen Fällen erheblich zur Akzeptanz bei denjenigen, die die Ergebnisse später in der realen Fertigung umsetzen sollen, bei. Darüber hinaus stellt die Animation von Modellen ein leistungsstarkes Hilfsmittel zur Fehlersuche in Modellen dar. Im Warteschlangensimulator können Modelle animiert werden, ohne dass dafür eine gesonderte Konfiguration nötig wäre. Optional können dabei Stationen, Kunden-, Bediener- und Transportertypen individuelle Symbole zugewiesen werden. Animationen können jeder Zeit unterbrochen und im Einzelschrittmodus ausgeführt werden. Wird eine Animation im Einzelschrittmodus ausgeführt, so werden die jeweils ausgeführten Ereignisse angezeigt und Systemparameter können direkt eingesehen und verändert werden.

3.6 Automatisierung und Einbindung in IT-Systeme

Der Warteschlangensimulator ist gleichermaßen für die interaktive Nutzung und auch für den Betrieb eingebettet in eine größere IT-Landschaft ausgelegt. Aufgrund der offenen und dokumentierten XML-Dateiformate für Modelle, Statistikdaten usw. sind eine externe Modellgenerierung und Weiterverarbeitung der Ergebnisdaten einfach möglich. Ein Kommandozeilen-Betrieb des Simulators ist ebenso möglich wie eine Fernsteuerung über REST-, MQTT- und Socket-Schnittstellen oder per Webinterface.

3.7 Verfügbarkeit

Der Warteschlangensimulator steht als ausführbare Binärdatei als auch im Quellcode unter

<https://github.com/A-Herzog/Warteschlangensimulator>

zum Download zur Verfügung. Das Programm wird unter der Apache 2.0 Open-source-Lizenz zur Verfügung gestellt und ist damit uneingeschränkt auch im kommerziellen Kontext nutzbar. In dem Installationspaket befinden sich neben dem Programm auch sämtliche Online-Hilfen, pdf-basierte Referenzen und auch Tutorials. Die gesamte Dokumentation und auch die Programmoberfläche selbst stehen dabei auf Deutsch und auf Englisch zur Verfügung.

4 Untersuchungsergebnisse

Die beschriebenen Simulationswerkzeuge werden in der rollierenden Produktionsplanung und zur Analyse strategischer Fragestellungen eingesetzt:

- *Analyse der Produktionsprozesse / Investitionsentscheidungen:*
Die warteschlangentheoretische Abbildung der Produktion im Walzwerk von Dillinger gewährt neue Einblicke in die Prozesse und führt so zu einem besseren Verständnis der Zusammenhänge und Abhängigkeiten. Konkret wird auf Simulationsbasis untersucht, welche Auswirkungen eine Veränderung der Bedienkapazität an bestimmten Anlagen zur Folge hat, um so Empfehlungen für mögliche Investitionsentscheidungen abgeben zu können. Diese Ergebnisse fließen bereits in die taktische und strategische Ausrichtung der Produktion ein.
- *Retrospektive Analyse:*
Die retrospektive Analyse der Produktion mit einem mit historischen Daten parametrisierten Simulationsmodell erlaubt es, Engpässe oder Konstellationen in der Belegung von Anlagen zu identifizieren, die z. B. Liefertermine beeinflussten. So wurden bereits umsetzbare Handlungsempfehlungen abgeleitet, um den Durchlauf bestimmter zeitkritischer Aufträge durch die Produktion zu beschleunigen.
- *Revenue Management:*
In klassischen Verfahren zur Ertragsoptimierung des Produktmixes wird eine Fertigung in Form eines linearen Programms (LP) abgebildet und im Folgenden mit einem LP-Solver analysiert (Mellouli und Suhl 2006). Bei dieser Vorgehensweise geht jedoch die zeitliche Dimension bzw. die Abhängigkeit der Produktionskosten für ein bestimmtes Los vom aktuellen Systemzustand verloren. Mit Hilfe eines Simulationsmodells können solche Abhängigkeiten, die im vorliegenden Fall zu erheblichen Kostenunterschieden führen können, abgebildet werden.
- *Kapazitätsplanung:*
Für die kurz- bis mittelfristige Planung der Auftragsannahme und der Reihenfolgeplanung kann die Auslastung des gesamten Werkes sowie einzelner Stationen analysiert werden. Hierbei können konkrete, vorliegende Aufträge mit Schätzungen für die weitere Zukunft kombiniert werden und so Wahrscheinlichkeitskorridore bestimmt werden, siehe auch Abbildung 1. Hierauf kann heute zeitnah z. B. mit Anpassungen von Schichten und Arbeitsplänen reagiert werden.

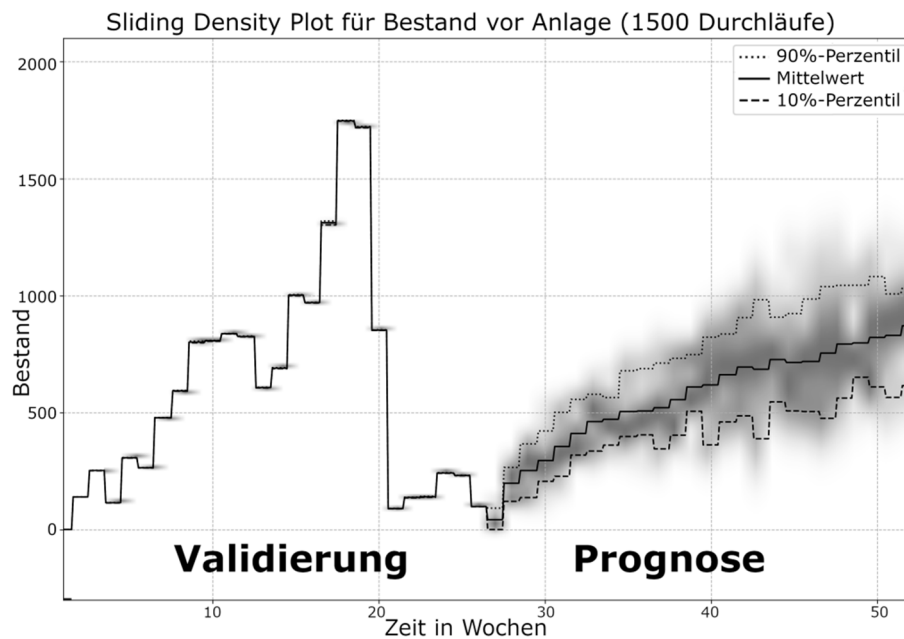


Abbildung 1: Simulierte Entwicklung der Bestände in der Produktion

5 Ausblick

Die beschriebenen Simulationswerkzeuge befinden sich bei Dillinger im Regelbetrieb und werden momentan bereits zur operativen Planung von Produktion und Auftragsannahme und zur Bewertung von strategischen Entscheidungen verwendet.

Da die Simulationsmodelle technische Details abstrahieren, sollen diese perspektivisch nicht nur in den technischen Fachabteilungen zum Einsatz kommen, sondern eine Brücke zwischen Marketing und Vertrieb auf der einen Seite und technischem Betrieb und strategischen Produktions- und Anlagenplanung auf der anderen Seite bilden. So ist es für den Vertrieb von hoher Bedeutung, auf möglichst zugängliche Weise und ohne selbst über umfangreiches Wissen zu Materialeigenschaften und Fertigungsschritten zu verfügen, den mit einem Auftrag verbundenen Ertrag abschätzen zu können. Außerdem beschränkt sich der Einsatz der Werkzeuge bislang auf den Bereich des Walzwerks. Das integrierte Hüttenwerk deckt jedoch die gesamte Produktionskette von der Koks- und Roheisenproduktion über die Stahlerzeugung bis hin zur Blechherstellung ab. Das nächste Ziel besteht daher darin, diese vertikale Integration auch in einem Simulationswerkzeug abzubilden, um so eine übergreifende Analyse und Optimierung der Prozesse zu ermöglichen.

Literatur

- Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 2005.
- Borshchev, A.: The big book of simulation modeling: multimethod modeling with anylogic 6. Chicago: AnyLogic North America 2013.
- Bracht, U.; Geckler D.; Wenzel, S.: Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer 2018.
- Busch, H.: Strongly diversifying product mix in heavy plate rolling - A challenge in logistics. Stahl und Eisen, 135. S. 73-79, Verlag Stahleisen GmbH 2015.
- Butun, I.: Industrial IoT - Challenges, Design Principles, Applications, and Security. Springer International Publishing 2020.
- Dagkakis, G.; Heavey, C.: A review of open source discrete event simulation software for operations research. Journal of Simulation 10 (2016) 3, S. 193-206.
- Gutenschwager, K.; Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: Simulation in Produktion und Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer 2017.
- Herzog, A. Simulation mit dem Warteschlangensimulator. Angenommen zur Veröffentlichung 2021 von Springer.
- Kelton, W. D.: Simulation with arena. New York: McGraw-Hill 2002.
- Kilger, W.: Optimale Produktions- und Absatzplanung: Entscheidungsmodelle für den Produktions- und Absatzbereich industrieller Betriebe. VS Verlag für Sozialwissenschaften 2013.
- Klein, R.; Steinhardt, C.: Revenue management: Grundlagen und mathematische Methoden. Berlin, Heidelberg: Springer 2008.
- Kolonko, M.: Stochastische Simulation – Grundlagen, Algorithmen und Anwendungen. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2008.
- Kumar, P.; Ponnusamy, V.; Jain, V.: Industrial Internet of Things and Cyber-Physical Systems: Transforming the Conventional to Digital. IGI Global 2020.
- Law, A.; Kelton, W D.: Simulation modeling and analysis. 5. Auflage. New York: McGraw-Hill 2014.
- Mellouli, T.; Suhl, L.: Optimierungssysteme: Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen. Berlin, Heidelberg: Springer 2006.
- Papageorgiou, M.; Leibold, M.; Buss, M.: Optimierung: Statische, dynamische, stochastische Verfahren für die Anwendung. Berlin, Heidelberg: Springer 2015.
- Sauerbier, T.: Theorie und Praxis von Simulationssystemen. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg & Sohn 1999.
- Shortle, J. F.; Thompson, J. M.; Gross, D.; Harris, C. M.: Fundamentals of queueing theory. John Wiley & Sons 2018.
- Strickland, J.: Discrete event simulation using extendsim 8. Morrisville: Lulu.com 2013.
- Swain, J. J.: Simulation software survey-simulation: new and improved reality show. OR/MS Today 44 (2017) 5, S. 38-49.
- Waldmann, K.-H.; Helm, W. E.: Simulation stochastischer Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer 2016.
- Wenzel, S.; Weiß, M.; Collisi-Böhmer, S.; Pitsch, H.; Rose, O.: Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und Durchführung von Simulationsstudien. Berlin, Heidelberg: Springer 2007.