

*Simulation in Produktion und Logistik 2023
Bergmann, Feldkamp, Souren und Straßburger (Hrsg.)
Universitätsverlag Ilmenau, Ilmenau 2023
DOI (Tagungsband): 10.22032/dbt.57476*

Iterative optimierungsbasierte Simulation in der Praxis – Simulation der Oberflächenveredelung der Salzgitter Flachstahl GmbH

Iterative Optimization-based Simulation in Practice – Simulation of the Surface Finishing at Salzgitter Flachstahl GmbH

Patrick Oetjegerdes, Christian Weckenborg, Thomas Stefan Spengler, TU Braunschweig, Braunschweig (Germany), p.oetjegerdes@tu-braunschweig.de, c.weckenborg@tu-braunschweig.de, t.spengler@tu-braunschweig.de
Udo Vogeler, Mike Molzberger, Salzgitter Flachstahl GmbH, Salzgitter (Germany), vogler.u@salzgitter-ag.de, molzberger.m@salzgitter-ag.de

Abstract: The Salzgitter Flachstahl GmbH plans a shift in their production program, which might require adaptations in the logistics. A discrete event simulation model is used to evaluate the impact of the new production program on logistics and the effects of various adaptations. In practice, however, optimization algorithms are applied in this system to facilitate resource planning, e.g., for loading train wagons or crane scheduling. To develop a valid production system model, it was necessary to implement optimization algorithms directly within the simulation and execute them iteratively during the simulation run. Using this approach, different adaptations of the logistic system could be evaluated. The approach to implementing iterative optimization-based simulation in practice and the lessons learned are reported.

1. Einleitung

Auf Basis einer angepassten Absatzplanung stellt die Salzgitter Flachstahl GmbH (SZFG) ihr Produktionsprogramm um. Unter anderem wird in eine neue Anlage für die Feuerverzinkung von Stahlcoils investiert, die die bisherige Produktionsmenge des Produktionsbereichs der Oberflächenveredelung um etwa 30 % erhöht. Der Bereich der Oberflächenveredelung ist als Werkstattfertigung organisiert und der durchschnittliche Bestand an kundenindividuell produzierten Stahlcoils beträgt etwa 7.500 Stück. Diese wiegen bis zu 32 Tonnen und können nur mit Kränen, Zügen, LKWs und Spezialfahrzeugen transportiert werden. Durch die hohe Anzahl kundenindividueller Produkte, das hohe Produktgewicht und die Organisation als Werkstattfertigung gestaltet sich die Logistikplanung komplex. Im Rahmen der Logistikplanung werden aus diesem Grund unterschiedliche optimierende Verfahren

genutzt, beispielsweise für die Kransteuerung, die Routenplanung eines fahrerlosen Transportsystems oder für die Beladung von Zugwaggons.

Um eventuell auftretende Engpässe der Logistik in diesem Produktionssystem auf Grund der Anpassung des Produktionsprogramms zu prognostizieren und gegebenenfalls rechtzeitig passende Maßnahmen zur Engpassauflösung einzuleiten, empfiehlt sich die Nutzung einer ereignisdiskreten Simulation, wie sie häufig für diese Art von Problemen in der Industrie genutzt wird (Gutenschwager et al. 2017). Dieser klassische Ansatz wurde auch zunächst von der SZFG genutzt. Jedoch führt das veränderte Produktionsprogramm nicht nur zu einer intensiveren Nutzung der Ressourcen (Kräne, Lagerflächen, Züge, usw.), sondern auch zu einer veränderten Nutzung, da z.B. die Produkte des angepassten Produktionsprogramms im Durchschnitt eine höhere Masse besitzen. Diese veränderte Nutzung spiegelt sich in veränderten Parametern der optimierenden Verfahren wider. Eine Modellierung, die lediglich historische beobachtete Daten berücksichtigt, führt nicht zu einer validen Modellierung. Stattdessen ist es notwendig die optimierenden Verfahren selbst zu modellieren, sodass die Reaktion auf die veränderten Parameter korrekt prognostiziert wird.

Diese Implementierung optimierender Verfahren in einem Simulationsmodell wird als iterative optimierungsbasierte Simulation bezeichnet (Figueira und Almada-Lobo 2014). Ausgelöst durch ein eintretendes Ereignis (z.B. der Eintritt eines Zugs zum Abtransport von Produkten), wird während des Simulationslaufs ein optimierendes Verfahren aufgerufen. Hierzu werden durch die Simulation ermittelte Parameter an das optimierende Verfahren übergeben, welches dann Entscheidungen trifft und diese an die Simulation zurückgibt. Diese Entscheidungen werden dann im weiteren Ablauf der Simulation umgesetzt (siehe Abbildung 1).

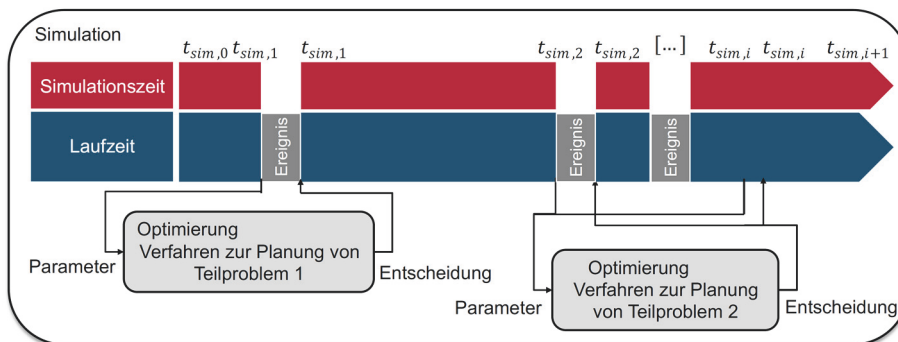


Abbildung 1: Funktionsweise iterativer optimierungsbasierter Simulationen.

Iterative optimierungsbasierte Simulationen werden zum Teil bereits in der Forschung diskutiert (siehe Kapitel 3) und auch entsprechende Richtlinien beschreiben die Methode (Verein Deutscher Ingenieure 2020). In diesem Beitrag hingegen wird der Einsatz einer iterativen optimierungsbasierten Simulation in der Praxis beschrieben – anhand einer Fallstudie in der komplexen und hochautomatisierten Oberflächenveredelung der Salzgitter Flachstahl GmbH. So wird der Diskurs durch einen Praxisbericht mit Erfahrungen der Anwendung aus der Praxis erweitert. Anhand

des Beispiels der Beladung von Zugwaggons in diesem System werden die Funktionsweise und Implementierung dargestellt und die Ergebnisse einer Modellierung auf Basis historischer Daten aufgezeigt. Hierzu werden zunächst in Kapitel 2 die Oberflächenveredelung als Untersuchungsgegenstand und die Herausforderungen im Rahmen der Modellierung als Simulationsmodell beschrieben. In Kapitel 3 wird anschließend ein Überblick über die Literatur zur iterativen optimierungs-basierten Simulation gegeben. In Kapitel 4 wird eines der Planungsprobleme des Produktionssystems fokussiert, um die Auswirkungen der direkten Integration optimierender Verfahren in die Simulation zu veranschaulichen. Auf Basis dieser Fallstudie werden die Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz von iterativen optimierungs-basierten Simulationen in der Praxis beschrieben. Das Kapitel 5 schließt mit einer Zusammenfassung.

2. Beschreibung des Untersuchungsgegenstands

Die Oberflächenveredelung (OV) ist die letzte Produktionsstufe der Produktion von Flachstahl (Wichmann 2014). In dieser Stufe wird das Stahlband, welches zu einem Stahlcoil aufgewickelt transportiert wird, mit Zink oder organischen Stoffen beschichtet und gemäß der Auftragsvorgabe des Kunden adjustiert und versandt. Zunächst wird im Folgenden das Produktionssystem der Oberflächenveredelung der Salzgitter Flachstahl GmbH (SZFG) beschrieben.

Für die Oberflächenveredelung stehen sechs Anlagen zur Verfügung: drei für die Feuerverzinkung, eine für die elektrolytische Verzinkung, eine für die organische Bandbeschichtung und eine für die Coiladjustage. Jede dieser Anlagen führt einen kontinuierlichen Produktionsprozess durch, bei dem je nach Anlage bis zu 500.000 t Stahl pro Jahr veredelt werden. Es ist auch möglich, dass Stahlcoils mehrere Anlagen durchlaufen. Beispielsweise wird das Produkt zuerst feuerverzinkt, anschließend organisch beschichtet und zuletzt in der Coiladjustage entsprechend den Vorgaben des Kunden zugeschnitten. Welche Anlagen durchlaufen werden, ist abhängig vom Kundenauftrag. Insgesamt sollen in der OV gemäß dem angepassten Produktionsprogramm 30 % mehr veredelter Stahl pro Jahr produziert werden.

Die Stahlcoils haben ein Gewicht von 8–32 t pro Stück und werden vor allem mit Hilfe von Portalkränen und einem fahrerlosen Transportsystem zwischen den Anlagen transportiert. Zu jedem Zeitpunkt liegen etwa 7.500 kundenindividuelle Stahlcoils (Zwischenmaterial, Fertigmateriale und Konzessionsmaterial) in der OV in Stahlcoillagern. Diese Stahlcoillager bestehen aus Mulden, mit deren Hilfe die Stahlcoils in bis zu zwei Lagen gestapelt werden können. Auf diese Weise stehen in dem Bereich OV etwa 12.000 Lagerplätze zur Verfügung, jedoch existieren außerhalb des Bereichs der OV weitere Lagerplätze. Insgesamt hat der Bereich eine Größe von etwa 175.000 m².

Anschließend an die Veredelungsprozesse erfolgt der Versand per LKW oder Zug aus dem Bereich OV. An jedem Werktag wird eine hohe zweistellige Zahl von LKWs beladen. Für den Abtransport per Zug stehen 4 Gleise zur Verfügung. Die Modellgrenze der Simulation stellt der Eintritt von Stahlcoils in den Bereich OV dar sowie der Abtransport per LKW, internem Spezialtransporter oder Zug. Eine schematische Darstellung des Produktionssystems findet sich in Abbildung 2.

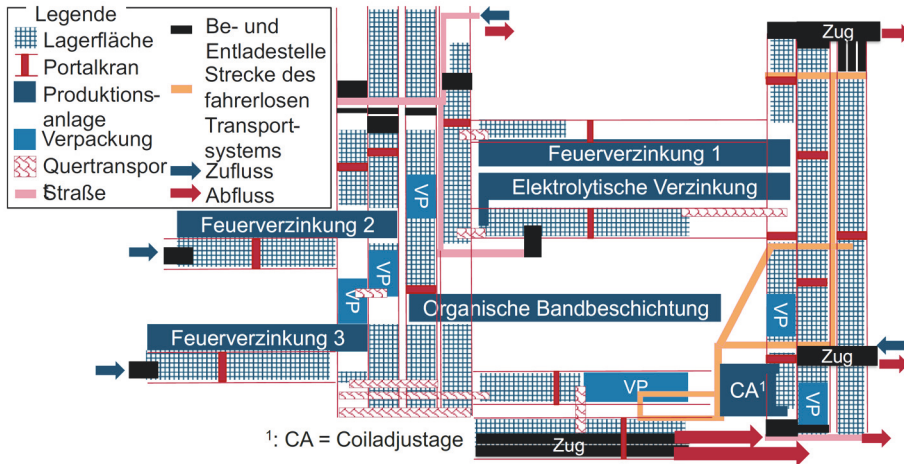


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Oberflächenveredelung

Im Rahmen der Logistikplanung müssen verschiedene Planungsprobleme gelöst werden. Beispielsweise muss im Rahmen der Kransteuerung entschieden werden, in welcher Reihenfolge die Stahlcoils transportiert werden und welche Plätze ihnen in den Stahlcoillagern zugewiesen werden. Das fahrerlose Transportsystem transportiert automatisch zwischen verschiedenen Bereichen des Produktionssystems eine niedrige dreistellige Zahl von Stahlcoils. Es muss sowohl eine Reihenfolge für den Transport bestimmt werden als auch eine Routenplanung für die einzelnen Fahrzeuge. Zudem werden auf vier Gleisen Zugwaggons mit Stahlcoils beladen. Es muss berücksichtigt werden, welche Stahlcoils verladen werden, sodass weder die maximale Zuladung pro Waggon noch die maximale Anzahl an Stahlcoils pro Waggon überschritten wird. Ziel ist es im Rahmen der Kundenaufträge die Beladung dieser Waggons hinsichtlich der abtransportierten Masse zu optimieren. Diese Planungsprobleme werden in der Realität typischerweise computerunterstützt mit Hilfe optimierender Verfahren (exakt und heuristisch) gelöst.

Im Rahmen der Modellierung dieses Produktionssystems wurden insbesondere drei Herausforderungen identifiziert:

- Modellierung des komplexen Produktionssystems
- Berücksichtigung der individuellen Kundenaufträge
- Modellierung der optimierenden Verfahren der Logistikplanung

In den übrigen Abschnitten konzentriert sich der Beitrag auf die Darstellung, wie die Herausforderung der Modellierung der optimierenden Verfahren gelöst wurde. Da die Veränderung des Produktionsprogramms – und die daraus resultierenden veränderten Parameter – einen großen Einfluss auf die Ergebnisse der optimierenden Verfahren hat, wurden die optimierenden Verfahren direkt in die Simulation integriert. Auf diese Weise wird eine genauere Prognose der Auswirkungen des veränderten Produktionsprogramms auf das Produktionssystem erwartet. Im Folgenden wird ein Literaturüberblick über die Kombination von Simulation und Optimierung im Allgemeinen und die Verknüpfung als iterative optimierungsbasierte Simulation im Speziellen gegeben. Zudem wird der bisherige Einsatz von iterativen optimierungsbasierten Simulationen zusammengefasst.

3. Literaturüberblick

Eine Klassifikation und Taxonomie des kombinierten Einsatzes von Simulation und Optimierungen wird in Figueira und Almada-Lobo (2014) beschrieben. Zudem findet sich in der VDI-Richtlinie 3633 – Blatt 12 (2020) ein Überblick über die Verknüpfung von Simulation und Optimierung. Der Begriff der iterativen optimierungsbasierten Simulation (IOS) wurde von Figueira und Almada-Lobo (2014) geprägt. Mit diesem Begriff wird eine hierarchische Verknüpfung von Simulation und Optimierung beschrieben, bei der im Ablauf der Simulation an verschiedenen Stellen optimierende Verfahren aufgerufen werden. Die optimierenden Verfahren dienen hierbei der Lösungserzeugung zu Problemstellungen, die im Ablauf der Simulation auftreten (Figueira und Almada-Lobo 2014). Gemäß der VDI-Richtlinie 3633 – Blatt 12 (2020) entspricht die Methode der Integration der Optimierung in die Simulation (Kategorie C).

Detaillierte Berichte über den kombinierten Einsatz von Simulation und Optimierung in der Praxis finden sich in Gutenschwager (2002) und März et al. (2011). Kulkarni und Venkateswaran (2014) nutzen IOS für die Lösung der Maschinenbelegungsplanung in der Werkstattfertigung. Das optimierende Verfahren generiert eine mögliche Lösung, die mit Hilfe der Simulation auf ihre Gültigkeit überprüft wird. Anschließend wird der aktualisierte Lösungsraum erneut an die Optimierung übergeben. Dehghanimohammadabadi und Keyser (2015) stellen ein Framework für die Erstellung von IOS mit Hilfe der kommerziellen Tools SIMIO und Matlab vor und nutzen es erstmalig für ein Reihenfolgenplanungsproblem paralleler Maschinen. Fernandes et al. (2018) nutzen dieses Framework für die Bestimmung der Auftragsfreigabe in einem Fließproduktionssystem. Kapadia et al. (2019) nutzen dieses Framework für die Evaluation verschiedener Optimierungsverfahren für die Ablaufplanung in einem Produktionssystem für die additive Fertigung. Borodin et al. (2019) stellen einen Ansatz zur Kopplung der zwei kommerziellen Tools CPLEX und Arena im Rahmen einer IOS vor.

Dieser Literaturüberblick zeigt das Interesse an IOS in der Wissenschaft, insbesondere im Bereich der Ablaufplanung. Es findet sich jedoch kein Bericht über den Einsatz in der Praxis. Insbesondere findet sich kein Überblick über Herausforderungen, die ein Einsatz in der Praxis mit sich bringt und welche Rahmenbedingungen einen erfolgreichen Einsatz in der Praxis ermöglichen. Aus diesem Grund wird in diesem Beitrag die Umsetzung der Methode aus Praxissicht beschrieben.

4. Einsatz iterativer optimierungsbasierter Simulationen

In diesem Kapitel wird zunächst eine Fallstudie basierend auf einem Ausschnitt des Simulationsmodells der Oberflächenveredelung der SZFG im Detail vorgestellt und Auswirkungen der Integration des optimierenden Verfahrens auf Laufzeit und Ergebnisse dargestellt. Aufbauend auf der Diskussion der Ergebnisse werden Rahmenbedingungen für den erfolgreichen Einsatz von IOS in der Praxis abgeleitet.

4.1 Vorstellung der Fallstudie

Ausgangslage für die Simulationsstudie ist eine Anpassung des Produktionsprogramms auf Grund einer veränderten Nachfrage sowie des Baus einer neuen Anlage, die die Gesamtausbringungsmenge des Bereichs OV um etwa 30 % erhöht. Neben der Erhöhung der Gesamtausbringungsmenge steigt auch das durchschnittliche Gewicht der Produkte im Produktionsprogramm um 5 %. Im Rahmen der Engpassanalyse des Logistiksystems war eine Fragestellung, unter welchen Umständen der Abtransport der erhöhten Produktionsmenge per Zug möglich ist.

Eine zentrale Fragestellung war, wie viele Waggons pro Tag beladen werden müssen, um einen Engpass im Stahlcoillager der südlichen Verladehalle zu vermeiden. Durch eine große Anzahl an Einflussfaktoren und Unsicherheiten, konnte diese Frage nicht analytisch bestimmt werden, weshalb eine Simulationsstudie vorgeschlagen wurde. Der durchschnittliche Bestand in der südlichen Verladehalle beträgt etwa 1.000 Stahlcoils. Diese Coils lagern hier bis zu ihrer Freigabe durch die Absatzplanung. Sobald diese erfolgt ist, werden sie gemäß der Beladungsplanung in Zugwaggons verladen und abtransportiert. Diese Fallstudie fokussiert sich auf die Implementierung der Beladungsplanung der Zugwaggons für den internen Transport zu dieser Versandhalle.

In einem ersten Schritt wurde zur Validierung das bestehende Produktionssystem mit dem ursprünglichen Produktionsprogramm modelliert. Dieses Modell wird im Folgenden als *Modell 1* bezeichnet. Nach abgeschlossener Validierung wurde das neue Produktionssystem modelliert. Insbesondere wurde die neue Anlage in das Modell eingefügt. Anschließend wurde das Modell auf Basis des neuen Produktionsprogramms parametrisiert. Dieses Modell wird im Folgenden als *Modell 2* bezeichnet.

Durch den Import einer Initialbelegung auf Basis einer Momentaufnahme aus dem Lagerverwaltungssystem, konnte eine Einschwingzeit von 30 Tagen bestimmt werden. Ein Simulationslauf umfasst eine Simulationsdauer von 180 Tagen. Für beide Szenarien wurden 15 voneinander unabhängige Simulationsläufe durchgeführt. Simuliert wurde mit Hilfe der kommerziellen Software Siemens Tecnomatix Plant Simulation 2201 auf einem Laptop mit Intel Core i7-1185G7 mit 3,0 GHz und 8 Threads und 32 GB RAM.

4.2 Integration des optimierenden Verfahrens

Im Folgenden wird beschrieben, wie das Planungsproblem der Beladung der Zugwaggons in die Simulation integriert und ausgeführt wurde.

Für den Abtransport stehen Züge mit 7 bis 10 Waggons zur Verfügung. Jeder Waggon kann bis zu fünf Stahlcoils aufnehmen, jedoch darf die Zuladung 100 t nicht übersteigen. Ziel der Beladungsplanung ist die Maximierung der abtransportierten Masse pro Waggon.

Die Beladungsplanung erfolgt iterativ für jeden einzelnen Waggon statt für den gesamten Zug simultan. Auch wenn die simultane Planung der Beladung des gesamten Zugs eine noch bessere Auslastung des Zuges ermöglichen würde, entspricht dies nicht dem Vorgehen in der Realität. Dies hat vor allem organisatorische Gründe. Die Beladung eines Waggons benötigt etwa eine halbe

Stunde. Zwischen Beladung des ersten und letzten Waggons eines Zugs können entsprechend bis zu 5 Stunden vergehen. In der Zeit zwischen Beladung des ersten und letzten Waggons verändert sich die Menge für die Verladung freigegebenen Coils deutlich. Entsprechend wird für jeden Waggon neu geplant.

Die Planung der Beladung eines Zugs wird durch das Ereignis „Eintritt Zug“ ausgelöst. Aus der Menge an freigegebenen Stahlcoils, die auf die Verladung warten, wird die Teilmenge bestimmt, die die Zuladung für einen Waggon maximiert. Hierzu wird ein optimierendes Verfahren aufgerufen, welches diese Teilmenge bestimmt. Anschließend werden diese Stahlcoils verladen. Sobald der Verladevorgang abgeschlossen ist, wird erneut überprüft, welche Stahlcoils für die Verladung auf den nächsten Zugwaggon zur Verfügung stehen und eine Teilmenge für die Verladung bestimmt. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis alle Zugwaggons und damit der Zug vollständig beladen ist.

Im vorliegenden Fall wurde die Beladungsplanung durch vollständige Enumeration gelöst. Die Laufzeit des Modells wurde aufgrund der geringen Anzahl von durchschnittlich acht freigegebenen Stahlcoils nicht stark beeinflusst (siehe Kapitel 4.3). Sofern mehr als 12 Stahlcoils für die Verladung freigegeben wurden, wurden nur 12 Stahlcoils für die Beladung in Betracht gezogen, die die geringste verbleibende Zeit bis zur Auftragsfertigstellung haben. Auf diese Weise wurde der exponentiell ansteigende Rechenaufwand begrenzt. Dieses optimierende Verfahren wurde auf Grund der hohen Anzahl an Aufrufen und geringen Laufzeit direkt in der Simulationssoftware implementiert. Grundsätzlich gibt es jedoch mehrere Alternativen zur Integration der optimierenden Verfahren. Diese werden inklusive der spezifischen Vor- und Nachteile in Abschnitt 4.4 diskutiert.

4.3 Ergebnisse der Fallstudie

Zunächst wurde das Simulationsmodell inklusive des optimierenden Verfahrens mit Hilfe des Modells 1 validiert. Hierzu wurde die durchschnittliche transportierte Masse und Anzahl an abtransportierten Stahlcoils pro Zug insgesamt und pro Waggon mit historischen Daten verglichen sowie intensiv mit den Experten im Unternehmen besprochen. Nachdem sowohl Simulationsmodell als auch das integrierte optimierende Verfahren validiert wurden, wurde Modell entsprechend der Parameter des Modells 2 angepasst. Durch eine iterative Erhöhung der Anzahl an beladenen Waggons pro Tag von ursprünglich 8,3 im Modell 1 auf 13,3 im Modell 2 konnte ein Engpass in dem Stahlcoillager in der südlichen Verladehalle vermieden werden.

Jedoch hat sich wie erwartet die Beladung der Waggons verändert. Während im Modell 1 durchschnittlich pro Waggon 4,7 Stahlcoils mit einer durchschnittlichen Masse von 93,07 t verladen wurden ($n = 18.675$), wurden im Modell 2 durchschnittlich 4,6 Coils (-0,7 %) mit einer durchschnittlichen Masse von 94,63 t (+1,7 %) verladen ($n = 29.880$). Auch wenn diese Werte auf den ersten Blick nur auf geringe Abweichungen hindeuten, entspricht dies einem zusätzlichen Bedarf von 5,3 Zügen bzw. 42,3 zusätzlichen Waggons pro Monat, um einen Anstieg des Bestands auf Grund der veränderten Zuladung pro Waggon zu verhindern. Eine graphische Darstellung der Verteilung der Beladung der Waggons findet sich in Abbildung 3 und Abbildung 4.

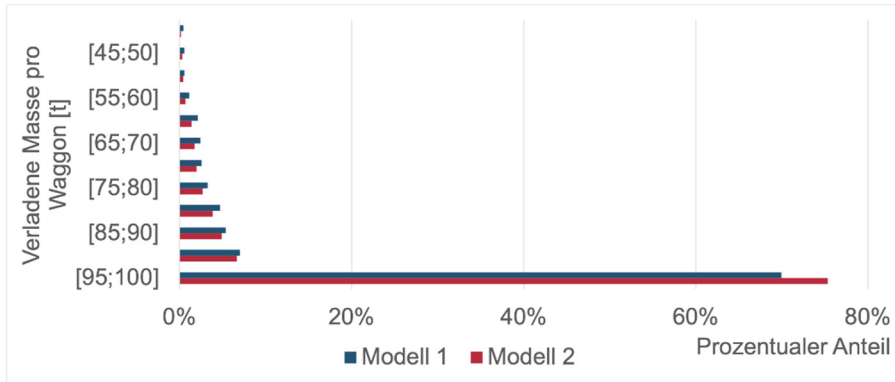


Abbildung 3: Verladene Masse pro Waggon in den zwei Szenarien

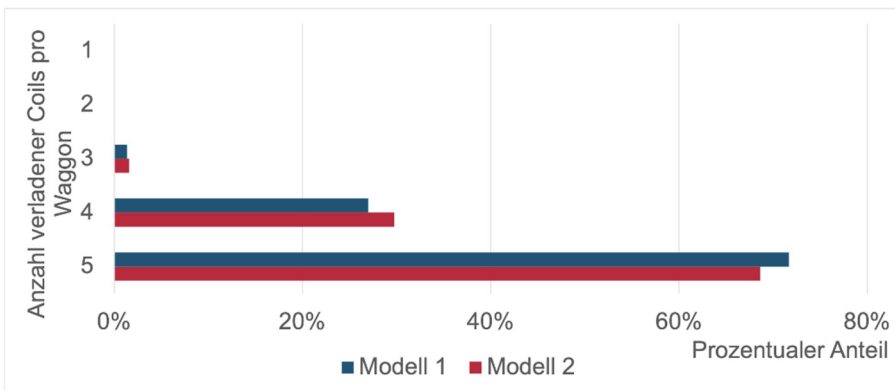


Abbildung 4: Verladene Anzahl Stahlcoils pro Waggon in den zwei Szenarien

Bei der Entwicklung von IOS ist zwischen einer hohen Laufzeit und einem hohen Detaillierungsgrad abzuwägen. Dies ist abhängig von dem zeitlichen Horizont der Fragestellung (strategisch, taktisch, operativ), von der Anzahl der untersuchten Szenarien und von der statistischen Absicherung. Im vorliegenden Modell benötigt ein Simulationslauf im Durchschnitt 24,7 Minuten für die Simulation von 180 Tagen für ein taktisches Problem mit einer begrenzten Anzahl zu untersuchenden Szenarien. Für diesen konkreten Anwendungsfall wurde die Laufzeit entsprechend als angemessen betrachtet. Für die Bestimmung zu verladender Stahlcoils wurde im Durchschnitt 0,20 ms pro Waggon benötigt. In Summe entspricht dies bei der Beladung von 29.880 Waggons einer zusätzlichen Laufzeit von etwa 6 s (0,4 % der Gesamtlaufzeit) durch die Integration dieses optimierenden Verfahrens. Die Implementierung dieses Verfahrens hat folglich keinen großen Einfluss auf die Laufzeit des Gesamtmodells. Die Implementierung anderer optimierender Verfahren in diesem Simulationsmodell hat jedoch einen größeren Einfluss. So resultiert beispielsweise die Implementierung der Kransteuerung in der südlichen Verladehalle als optimierendes Verfahren in einer zusätzlichen Laufzeit von 3,49 Minuten (14,8 % der Gesamtlaufzeit). Es muss folglich im Einzelfall darüber entschieden werden, welche Art der Modellierung geeignet ist. Hierzu wird im folgenden Kapitel eine Hilfestellung aus Praxissicht gegeben.

4.4 Ableitung von Rahmenbedingungen für den erfolgreichen Einsatz von IOS in der Praxis

Grundsätzlich stehen verschiedene Möglichkeiten für die Integration des optimierenden Verfahrens zur Verfügung:

- Implementierung des optimierenden Verfahrens direkt in der Simulationssoftware.
- Implementierung des optimierenden Verfahrens in einer dafür geeigneten zusätzlichen Software (z.B. Software zur mathematischen Optimierung) und Programmierung entsprechender Schnittstellen zum Datenaustausch.
- Implementierung einer Schnittstelle in der Simulationssoftware direkt zu der Software, die das Planungsproblem im realen Produktionssystem löst.

Im Rahmen der Modellierung des Produktionssystems wurden alle Möglichkeiten evaluiert und Vor- und Nachteile abgewogen. Eine Übersicht wird in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der verschiedenen Möglichkeiten optimierende Verfahren in Simulationen einzubinden

	Direkte Integration	Nutzung von Spezialsoftware	Nutzung einer Schnittstelle
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung einer einzelnen Software und Lizenz • Keine erhöhte Laufzeit durch Datenaustausch • Auswertung direkt in der Simulationssoftware 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung von auf das Verfahren zugeschnittener Software • Schnellstmögliche Lösungsfindung 	<ul style="list-style-type: none"> • Lösung mit exakt demselben Verfahren, wie in der Realität • Kein Programmieraufwand für das optimierende Verfahren • Ein wichtiger Schritt zur Erschaffung eines digitalen Zwillings
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Heuristiken und Algorithmen müssen neu entwickelt werden • Das Lösungsverfahren ist oftmals langsamer • Funktionalität durch Simulationssoftware begrenzt 	<ul style="list-style-type: none"> • Heuristiken und Algorithmen müssen neu entwickelt werden • Ggf. zusätzliche Kosten durch weitere Lizenz • Höhere Laufzeit durch Datenaustausch 	<ul style="list-style-type: none"> • Belastung von Produktivressourcen oder Investition in eine Kopie (von Teilen) des Produktionssystems • Alle Parameter, die für das Lösungsverfahren genutzt werden, müssen realitätsidentisch vorliegen
Empfehlung	Geeignet für einfache Verfahren, die nur eine geringe Laufzeit haben und häufig aufgerufen werden	Geeignet für komplexe Verfahren mit hoher Laufzeit	Geeignet für komplexe Verfahren, bei denen die Lösungsfindung schwer modellierbar oder unbekannt ist

5. Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde eine Anwendung von IOS in der Praxis beschrieben. Es wurde ein Überblick über die Herausforderung in der Modellierung eines komplexen Produktionssystem in der Stahlindustrie gegeben. Hierbei stellte insbesondere die Modellierung der optimierenden Verfahren eine Herausforderung dar. Anhand der Ergebnisse einer Fallstudie basierend auf einem Ausschnitt des Simulationsmodells konnte der Einfluss der Integration eines optimierenden Verfahrens dargestellt werden. Abschließend wurde ein Überblick über Arten der Integration optimierender Verfahren in Simulationsmodellen inklusiver der jeweiligen Vor- und Nachteile gegeben. Es konnten Empfehlungen gegeben werden, welche Art der Integration optimierender Verfahren im Rahmen einer IOS für Probleme aus der Praxis geeignet ist.

Literatur

- Borodin, V.; Bourtembourg, J.; Hanaiien, F.; Labadie, N.: COTS software integration for simulation optimization coupling: case of ARENA and CPLEX products. *International Journal of Modelling and Simulation* 39 (2019) 3, S. 178–189.
- Dehghanimohammadabadi, M.; Keyser, M.: Tradeoffs between objective measures and execution speed in Iterative Optimization-based Simulation (IOS). In: Yilmaz, L. Chan, W., Moon, I.; Roeder, T.; Macal, C.; Rosetti, M. (Hrsg.): *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference (WSC)*, Huntington Beach (CA), 6.-9. Dezember 2015, S. 2848–2859.
- Fernandes, N.; Dehghanimohammadabadi, M.; Carmo Silva, S.: Iterative Optimization-Based Simulation: A Decision Support Tool for Job Release. In: Rocha, Á; Adele, H.; Paulo Reis L.; Costanzo, S. (Hrsg.): *Trends and Advances in Information Systems and Technologies*. Cham: Springer International 2018, S. 706–713.
- Figueira, G.; Almada-Lobo, B.: Hybrid simulation–optimization methods: A taxonomy and discussion. *Simulation Modelling Practice and Theory* 46 (2014) 1, S. 118–134.
- Gutenschwager, K.: *Online-Dispositionsprobleme in der Lagerlogistik*. Berlin, Heidelberg: Springer 2002.
- Gutenschwager, K.; Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: *Simulation in Produktion und Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer 2017.
- Kapadia, M.; Starly, B.; Thomas, A.; Uzsoy, R.; Warsing, D.: Impact of Scheduling Policies on the Performance of an Additive Manufacturing Production System. *Procedia Manufacturing* 39 (2019) 1, S. 447–456
- Kulkarni, K.; Venkateswaran, J.: Iterative Simulation and Optimization approach for job shop scheduling. In: Tolk, A; Diallo, S.; Ryzhov, I.; Yilmaz, L.; Buckley, S.; Miller, J. (Hrsg.): *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference (WSC)*. Savannah (USA), 07.- 10. Dezember 2014, S. 1620–1631.
- März, L.; Krug, W; Rose, O.; Weigert, G.: *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer 2011.
- Verein Deutscher Ingenieure: *VDI-Richtlinie 3633 Blatt 12: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Simulation und Optimierung*. Berlin: Beuth, 2020.
- Wichmann, M.: *Auftragsbasierte Belegungsplanung von Stranggießanlagen in der stahlerzeugenden Industrie*. Wiesbaden: Springer 2014.