

Eine Blaupause zur Planung von Fabriken

Datendurchgängige Fabrik

D. Ihnen, A. Lange, T. Knothe

Das Blue Print Plant Model ist ein integriertes Unternehmensmodell, welches Objekte und deren Parameter einer Fabrik mit Prozessen sowie den Berechnungs- und Auslegungsverfahren verbindet. Dabei werden Partikularmodelle, wie zum Beispiel Wirtschaftlichkeitsanalysen, flexibel eingebunden. Die integrierte Betrachtung unterstützt eine Datendurchgängigkeit, mit der sich Medienbrüche entlang der Planungsphasen reduzieren lassen. Im Beitrag werden Erfahrungen anhand eines Use Cases der diskreten Fertigung dargestellt.

STICHWÖRTER

Datendurchgängigkeit, Entscheidungsunterstützung, Szenariomanagement

1 Herausforderungen für Fabriken in der digitalisierten Welt

Bislang sind die gängigen Fabrikplanungsvorgehen, wie beispielsweise die VDI5200 [1], strikt in Phasen mit Standardvorgehensweisen untergliedert. Bei der Erreichung eines Phasenendes endet die Aufgabe, wodurch sich häufig auch die Zuständigkeit sowie die Werkzeuge zur Planung ändern, sodass Organisations- und Medienbrüche entstehen, wie in **Bild 1** mit beispielhaften Beteiligten und Tools eines Fabrikplanungsprojektes dargestellt. Eine Datendurchgängigkeit wird dadurch erschwert. Aufgrund der heutigen hohen Vernetztheit von Fabriken ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit bereits während der Fabrikplanung stets relevanter geworden. Erschwerend wirken aufgrund des sich schnell ändernden Unternehmensumfelds immer neue Aspekte auf den Planungsprozess ein, die zu Diskontinuitäten führen. Neben den phasenorientierten Ansätzen bestehen ebenfalls agile Fabrikplanungsansätze, die aufgabenorientiert sind. Im Gegensatz zu den phasenorientierten, weisen die aufgabenorientierten Vorgehen keine zeitliche Abfolge der Aufgaben auf [2]. Dennoch können auch diese agilen Vorgehensweisen den Herausforderungen nicht hinreichend entgegenwirken. Zwar können Änderungen im Unternehmensumfeld bewältigt werden, dennoch bleiben Herausforderungen wie eine mangelnde Datenbasis, besonders zu Beginn der Planung (Frontloading), und ein fehlendes durchgängiges Datenmanagement weiterhin bestehen [3].

Um den dargestellten Herausforderungen entgegen zu wirken, wird in diesem Beitrag die Anwendung des Blue Print Plant Models (BPPM) anhand eines Beispiels aufgezeigt. Dazu erfolgt zunächst, nach einer Übersicht der Problematik, der Technologien und die Einführung in den Anwendungsfall. Nachfolgend wird aufgezeigt, wie das BPPM mit den Komponenten den An-

A blue print for factory planning – Data consistent factory

The Blue Print Plant Model is an integrated enterprise model that links objects and their parameters of a factory with processes, calculation and design procedures. Particular models, such as profitability analyses, are flexibly integrated. The integrated view supports data consistency, which reduces discontinuities along the planning phases. The article presents experiences based on a use case of discrete manufacturing.

wendungsfall unterstützt und eine datendurchgängige Planung erlaubt.

2 Bestehende Lösungsansätze zur Unterstützung der Datendurchgängigkeit

Die Standardvorgehensweisen für die Planung einer Fabrik existieren in verschiedenen Entwicklungs- und Interpretationsstufen, welche jedoch alle eine gewisse zeitliche Reihenfolge von Planungsphasen anstreben. Begonnen mit der Zielplanung, erfolgen Betriebsanalysen und darauf aufbauend theoretisch eine Grob- sowie Detailplanung, welche praktisch oft iterativ vorgenommen werden [1, 4].

Hierauf basierend, ohne jegliche Unterstützung in der Datenweitergabe zwischen den Phasen und mit steigenden Turbulenzen im Umfeld einer Fabrik sowie der damit einhergehenden Erhöhung der Planungsfrequenz, etablierte sich die Vorgehensweise der aufgabenorientierten Fabrikplanung. Diese verfolgt keine zeitliche Vorgabe, sondern setzt die zu bearbeitenden Aufgaben in den Fokus. Hier wird explizit kein Datenmanagement eingeführt, jedoch werden Wirkbeziehungen zwischen den einzelnen Aufgaben erläutert. Damit lässt sich der Einfluss jedes Planungsergebnisses auf potentielle weitere Aufgaben herleiten und eine definierte Weitergabe initiieren [2]. Doch auch diese Vorgehensweise und die Weiterentwicklungen in eine agile Richtung, konnten einige der größten Herausforderungen in der Fabrikplanung, wie mangelnde Datendurchgängigkeit, fehlendes Frontloading und eine Unterstützung in wichtigen Entscheidungen, nicht hinlänglich bedienen [3, 5, 6]. Methoden und Vorgehen für die integrierten und angrenzenden Disziplinen der Fabrikplanung wurden über die letzten Jahrzehnte getrennt erforscht, entwickelt

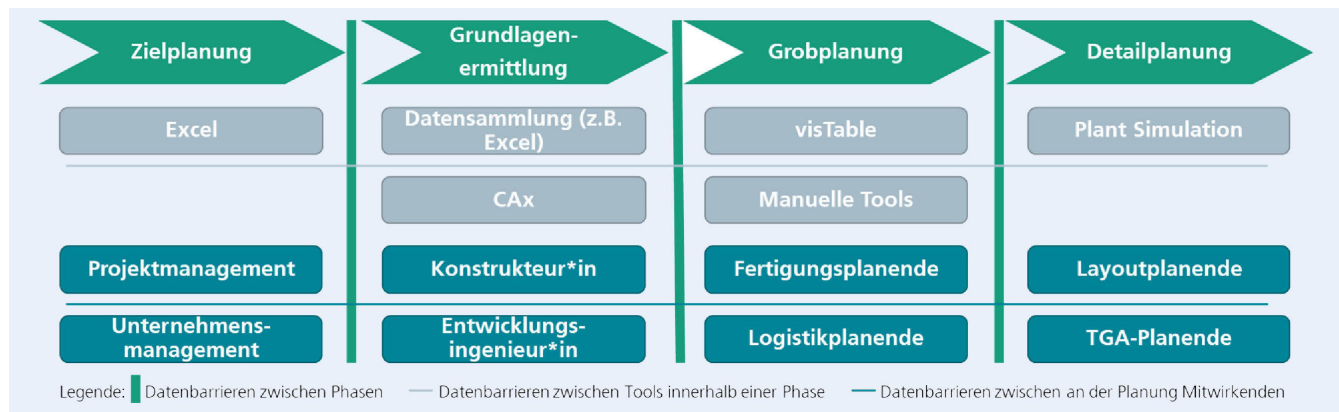


Bild 1. Datenbarrieren in der Phasenorientierten Fabrikplanung. Grafik: Fraunhofer IPK

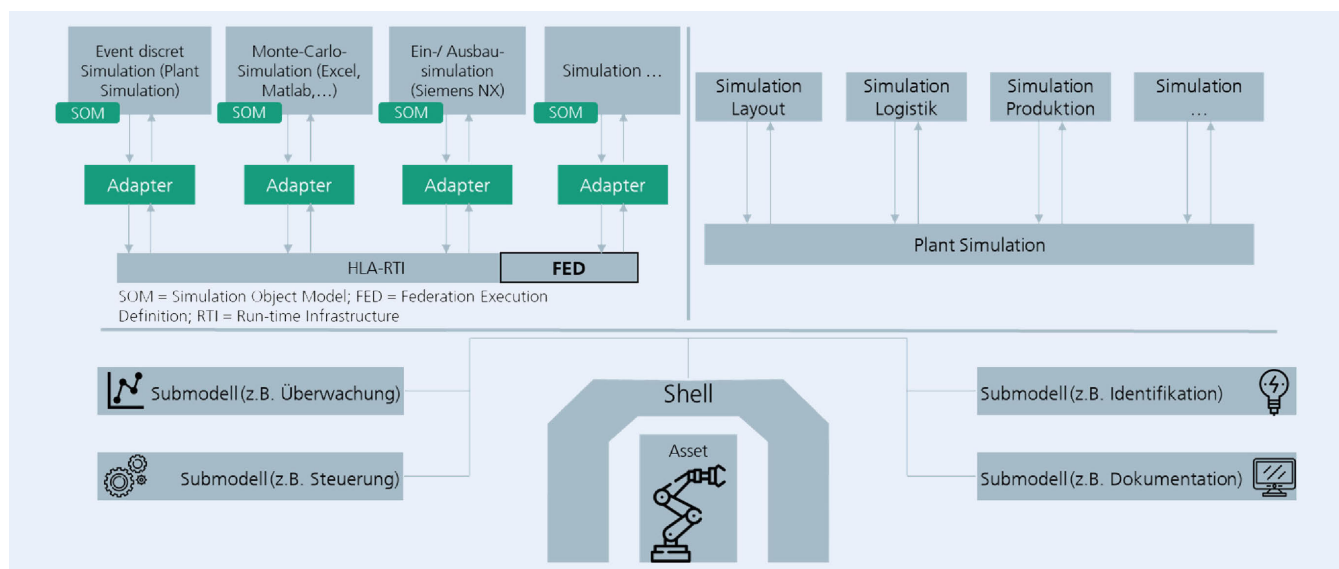


Bild 2. Datenübergabe in der industriellen Produktion. Oben links: High-Level-Architecture (HLA). Oben rechts: vernetzte Simulation. Unten: Asset Administration Shell (AAS). Grafik: Fraunhofer IPK

und Schnittstellen ausgeklammert. Hinzu kommen fehlende Koordination und Systematiken beim Anlegen und Übergeben von Prozessen und Informationen, welche auf ein mangelndes Datenmanagement hindeuten [7]. Dies hat zur Folge, dass Fehlentscheidungen auf ungenauen, falschen oder falsch interpretierten Daten getroffen werden, welche im Anschluss zu Verzögerungen in der Zeit und zu Kostenerhöhungen des Projektes führen [8].

Loos (2013) wählt als Lösungsansatz eine Kombination der Fabrikplanung mit der Produktentstehung. Sowohl die spezifischen Datenübergaben als auch eine Entscheidungsunterstützung orientieren sich allerdings stark an der VDI5200, weshalb hier ebenfalls ein Frontloading-Ansatz ungenügend etabliert wird.

Als Datenübergabewerkzeug zwischen Simulationen zur Reduzierung von Datenbrüchen ist seit mehr als zwanzig Jahren die High Level Architecture (HLA) bekannt. Hierbei werden die Ergebnisse verschiedener Simulationen über eine konfigurierbare Run-Time-Infrastructure (RTI) an die unterschiedlichen Simulatoren übergeben [9]. Eine Prinzipdarstellung ist in **Bild 2** oben links abgebildet. Die Problematik liegt in einer unsystematischen Speicherung der Daten in der RTI, welche auf eine unvollständige Anwendung der Objekt-Orientierung auf die Objekte zurück-

zuführen ist. Eine weitere Lösung ist die vernetzte Simulation, wie sie in **Bild 2** oben rechts dargestellt ist. In dieser werden verschiedene Aufgaben in einem Simulationswerkzeug bearbeitet. Hierbei liegt die Beschränkung in den Möglichkeiten des genutzten Werkzeugs.

In den letzten zehn Jahren wurde als ein Kern der Industrie 4.0 Entwicklungen das Konzept der Asset Administration Shell (AAS, deutsch Verwaltungsschale) für den Datenaustausch entlang der Wertschöpfungskette entwickelt und teilweise industriell umgesetzt [10]. Die Architektur dieser Lösung ist in **Bild 2** unten abgebildet. Für die Unterstützung der Fabrikplanung im gegebenen Kontext erscheint sie auf Grund ihrer Technologieoffenheit interessant als Basis für die Datenspeicherung. Andererseits sind bei der AAS einige wichtige Anforderungen nicht abgedeckt. Das betrifft zum Beispiel unterschiedliche Granularitäten der Daten zu einem Asset, das Variantenmanagement oder die unzureichende Abdeckung von Ablauflogiken. Die ist darin begründet, dass jedes Asset eine Verwaltungsschale haben kann, in welcher beispielsweise auch Ablauflogiken hinterlegt sind. Eine Systematik oder ein übergreifendes Modell zur Verknüpfung, der Verwaltung oder der Interaktion der Assets existiert jedoch nicht. Standardisierungen innerhalb einer Schale bezüglich Formaten und Granu-

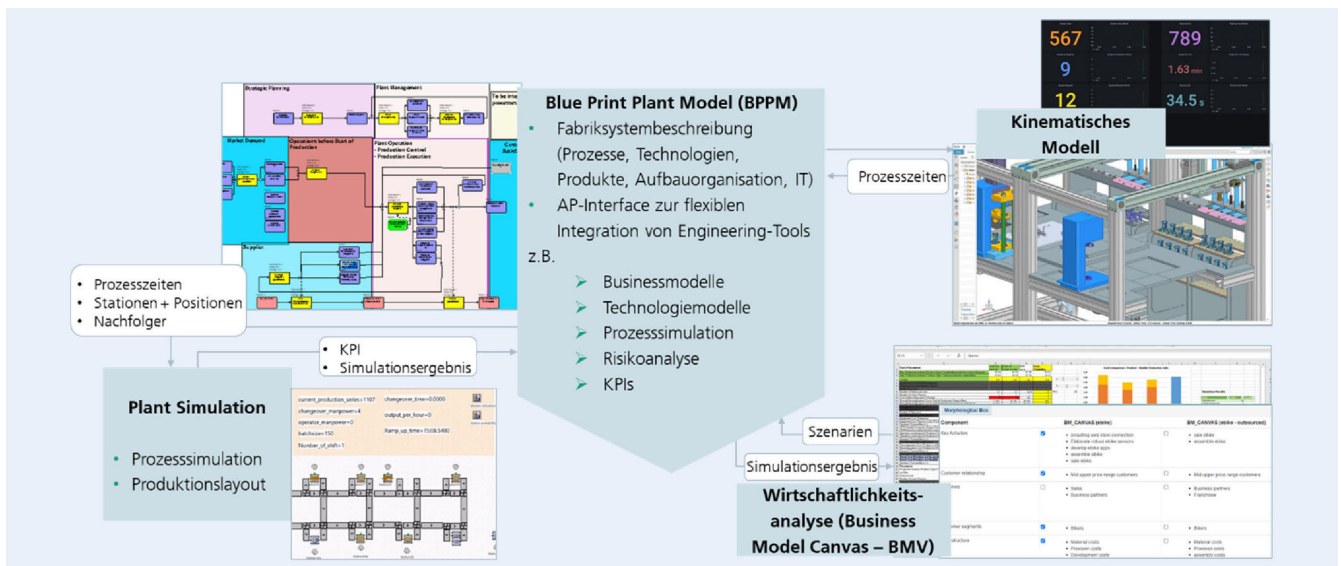


Bild 3. Schematische Darstellung der Datenübertragung über das Blue Print Plant Model. Grafik: Fraunhofer IPK

laritäten können zwar gewährleistet sein, übergreifend können diese allerdings unterschiedlich definiert sein. Die Weiterverarbeitung der Daten zu Szenarien und Integration von Simulatoren sind ebenfalls nicht gewährleistet. Zwar existieren in den neuesten Entwicklungen automatisierte Kommunikationswege, diese dienen aber mehr dem operativen Betrieb als einer Planung. [11]

3 Blue Print Plant Model als Werkzeug

Das vorgestellte Werkzeug basiert auf den Regeln und Vorschriften der Integrierten Unternehmensmodellierung (IUM), in welcher neben den definierten Modellierungselementen die Möglichkeiten der Verknüpfung der Objekt-Orientierung mit hierarchisierten Funktionslogiken voll ausgenutzt werden. Damit werden die Daten systematisch als Eigenschaft von Objekten über deren Prozessveränderung gespeichert [12]. Der Kern des Blue Print Plant Models ist ein Prozessmodell mit den Modellierungsvorschriften der IUM und wird mit dem Modellierungswerkzeug MO²GO ausgeführt, welches speziell für die IUM entwickelt wurde [13]. Über den gesamten Fabriklebenszyklus, von der Fabrikplanung über Lieferantenverwaltung, den detaillierten Produktdurchlauf bis hin zu Dienstleistungen auf der Kundenseite, werden alle Prozesse inkl. Supportprozesse, wie Personalverwaltung, eines Unternehmens werksspezifisch hierarchisch beschrieben. Die Eigenschaften der Objekte, die sogenannten Attribute, werden über verschiedene Architekturen und Adapter sowie über im Modellierungswerkzeug integrierte Applikationen eingelesen und verändert, jedoch immer mit der Modellierung im Zentrum der Betrachtung. [14]

Relevant für den hier beschriebenen Anwendungsfall sind der Simulations-Zwilling sowie die Wirtschaftlichkeitsanalyse. Erstes besteht aus einem kinematischen Modell modularer Produktionskomponenten in Siemens NX sowie einer Materialflusssimulation „Tecnomatix Plant Simulation“ von Siemens, welche über jeweils interne Algorithmen sowie „Rest API“ Adapter zur automatisierten Datenübergabe und Simulation mit dem Modell verbunden sind. Als Alternative kann hier beispielsweise die Software „visTable“ ergänzt werden oder eines der Werkzeuge ersetzen.

Mithilfe integrierter konfigurierbarer Web-Applikationen der Modellierungssoftware „MO²GO“ werden Berechnungen zwischen den Attributen des Modells vorgenommen, welche den notwendigen Datenupload so einfach wie möglich gestalten [13]. Beispielhaft werden aus dem Equipment einer Linie über mehrere Berechnungsschritte die jährlichen Abschreibungskosten berechnet. Eine Weiterentwicklung dieser Web-Applikationen ist das Business Model Canvas (BMV) zur Wirtschaftlichkeitsanalyse und Entscheidungsunterstützung für die Erzeugung alternativer Szenarien und deren Auswahl. Auf Basis eines Business Canvas werden Objekte aus dem Modell in Kategorien eingeordnet und mit Attributen zu Kosten sowie zu Einnahmequellen versehen. Diese werden in verschiedene Alternativen eingeordnet, welche über den Kreativitätsansatz der morphologischen Box zu Szenarien verknüpft werden. Anhand von Auswertungen, wie der Break-Even-Analyse, werden diese bewertet. [14]

Die schematische Darstellung der kundenindividuellen Architektur des BPPM ist in Bild 3 zu sehen.

4 Anwendungsfall

Die zuvor genannten Herausforderungen treten ebenfalls bei einem international agierenden Hersteller für Heimwerkzeuge auf. Eine der Optimierungskomponenten zur Gewinnsteigerung liegt in der Erhöhung der Produktzahl pro Jahr sowie der Reduzierung der Produktkosten. Das Unternehmen hat seinen Fokus auf eine hohen Varianten- und Produktzahl gelegt. Dazu wird in der Montage von den herkömmlichen spezifisch ausgeprägten und starr verketteten Montagestationen auf modulare automatisierte Montagestationen gewechselt. Damit sollen drei fundamentale Vorteile im Rahmen des drastisch gestiegenen Produktmixes und der reduzierten Losgröße erzielt werden. Erstens soll eine Steigerung des Automatisierungsgrades von circa 20 % auf mindestens 80 % erreicht werden, sodass die gestiegenen Lohnkosten bei gleichzeitig verringertem Fachkräfteangebot kompensiert werden. Zweitens sollen die Rüstzeiten um den Faktor sieben verkürzt werden, sodass geringe Losgrößen noch wirtschaftlich produziert werden. Drittens soll mit der Modularisierung die Skalierbarkeit der Fertigung gesteigert werden, da mit einheitli-

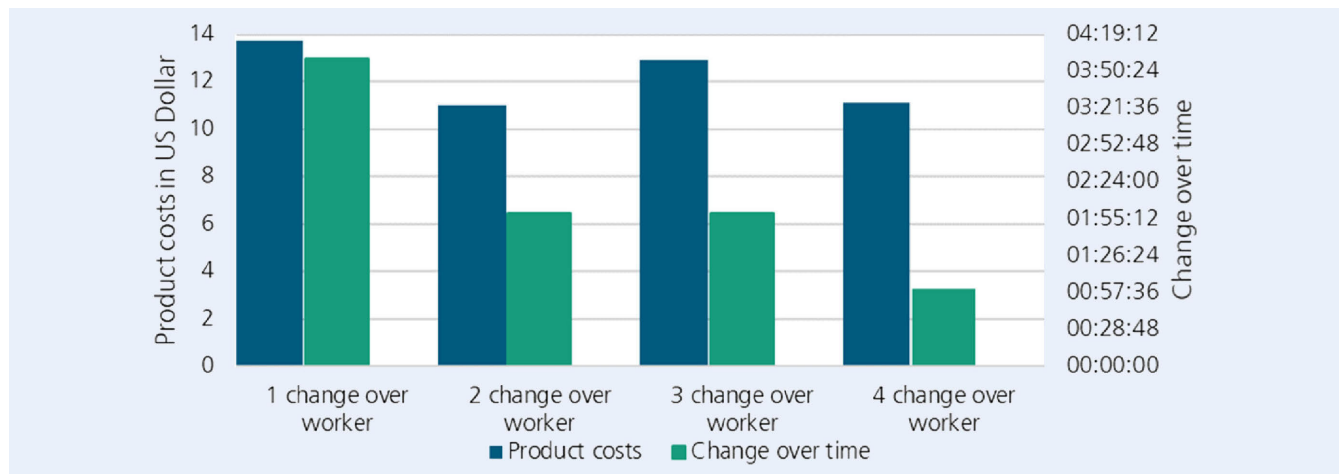


Bild 4. Ergebnisse aus der Simulation und der Wirtschaftlichkeitsanalyse. Grafik: Fraunhofer IPK

chen Modulen auch mehrere Montagelinien im Fall von Auftragspitzen gleichzeitig ein Produkt herstellen können. In diesem Beitrag wird dazu ein Teil der Montagelinie betrachtet, um daran die Anwendung des Blue Print Plant Models zu beschreiben. Die Linie besteht aus vier Stationen, welche ringförmig angeordnet sind und zur Weitergabe des Zwischenprodukts mit Förderbändern verbunden sind. Die Werkstückträger können mit mehreren Zwischenprodukten beladen werden. Die vier Stationen haben unterschiedliche Durchlaufzeiten, sodass es gegebenenfalls zu Wartezeiten des Werkstückträgers am Ende eines Förderbands vor jeder Station kommen kann. Der modulare Aufbau der Montagestationen ermöglicht eine flexible Nutzung der Stationen, wodurch ebenfalls der Rüstprozess von Produkt A auf Produkt B berücksichtigt werden muss, welcher manuell durchgeführt wird. Dazu müssen an den Montagestationen zum Beispiel Greifer ausgetauscht und gegebenenfalls ein Pressmodul eingesetzt werden. Das Blue Print Plant Model soll bei der Planung die Beantwortung der folgenden zentralen Fragestellung unterstützen: Wie kann der Gewinn durch die modularen automatisierten Montagestationen maximiert werden?

Dazu wird einerseits die Machbarkeit der Montagelinie mittels einer Simulation geprüft sowie eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt, die verschiedene Anzahlen an Rüstmitarbeitenden betrachtet. Die Best Practices aus der Betrachtung sowie dem späteren Betrieb sollen auf weitere Fabriken übertragen werden.

5 Anwendung des Blue Print Plant Models

Die kinematische Simulation der beschriebenen Montagemodule liefert die Varianz der Prozesszeiten für jedes der Module, welche über einen Adapter an die Attribute der dazugehörigen Elemente im Prozessmodell übergeben werden. Diese Elemente sind im Bereich der Plant Operation des Prozessmodells mit den Produktionsabläufen modelliert. Über eine Rest API Schnittstelle werden die Kennzahlen an Plant Simulation übergeben, wodurch die Module automatisiert an der richtigen Stelle im Layout platziert, mit den passenden Durchlaufzeiten versehen und die Werkstückträger mit der richtigen Produktionsreihenfolge programmiert werden. Für diese Linie müssen manuell die Transportbänder und deren Bewegungspfade ergänzt werden. Mithilfe der Simulation kann nun die allgemeine Machbarkeit der

Produktion in der hochautomatisierten Linie überprüft werden. Für die Fragestellung der Rüstzeiten werden geeignete Alternativen der Rüststrategien (Kapazitäten, Zuordnung, mit und ohne Linestopp, sequenzielles oder komplettes Rüsten) an der Linie ergänzt. Die aus den Simulationsexperimenten entstehenden Produktionsmengen werden in das BPPM übertragen.

Die am Planungsprozess Beteiligten verwenden Web-Applikationen zur Datengenerierung, sodass die Produktkosten für verschiedenen Szenarien berechnet werden können. Die erste Applikation betrachtet das Produktionsequipment und deren Parameter, zum Beispiel Abschreibungszeiträume. Durch die Applikation werden die Eingangsdaten in jährliche Fixkosten umgerechnet. Die zweite Applikation bezieht sich auf den Personalbedarf. Hierbei werden den Prozessen zugeordnete Rollen aus dem Modell die Personalkosten zugeordnet sowie diese in die Fixkostenberechnung integriert. Die dritte Applikation dient der Analyse von erforderlichen Flächen der Linie und dem Energieverbrauch. Im Rahmen von Analysen zum Standortvergleich können diese Bedarfe mit den jeweiligen regionalen Werten von Energiepreisen und Flächenpreisen automatisiert verrechnet werden.

Im BMV werden die Elemente wie folgt in jedes Szenario in die Kategorien des Business Canvas eingeordnet:

- Key resources: Linie, Modul, Transportbänder, Rüstmitarbeitende
- Revenue Stream: Produkt mit den jeweiligen Produktionsmengen

In Bild 4 sind die Ergebnisse sowohl aus der Simulation als auch aus dem BMV abgebildet.

Mit vier Mitarbeitenden wird die Rüstzeit um 75 % im Vergleich zu einem Mitarbeitenden reduziert. Die Kosten pro Produkt sind mit einem geringen Unterschied bei zwei und vier Mitarbeitenden am geringsten. Durch das BPPM konnte der Betrachtungsfall nicht nur in der Simulation betrachtet, sondern durch die unterstützte Übertragung der Daten auch ökonomisch analysiert werden. Die Daten müssen nicht manuell zwischengespeichert und in ein anderes Format übertragen werden, sondern können über die Vernetzung aufwandsarm übertragen und weiterverarbeitet werden. Die Darstellung der Szenarien gibt einen Überblick auf die unterschiedliche Kostenstruktur dieser und vereinfacht somit die fundierte Entscheidung anhand von Parametern außerhalb der Simulation. Die Ergebnisübersicht aller vier Szenarien aus der Applikation ist in Bild 5 dargestellt. Dies

Scenario 1 - Change over 1	Fixed Costs:	61900.74 USD
	Variable Costs:	1200.0 USD
Scenario 2 - Change over 2	Selling Quantity:	4600.0 units
	Processing Time:	0.0 time units
Scenario 3 - Change over 3	Selling Price:	60.0 USD
	BreakEven Price:	13.71 USD
Scenario 4 - Change over 4	BreakEven Quantity:	1031.67 units
	BreakEven Time Point:	0.22 time period
Scenario 1 - Change over 1	Regional costs:	1200.0 USD
	Profit:	212899.23 USD
Scenario 2 - Change over 2	Fixed Costs:	74900.75 USD
	Variable Costs:	1200.0 USD
Scenario 3 - Change over 3	Selling Quantity:	6900.0 units
	Processing Time:	0.0 time units
Scenario 4 - Change over 4	Selling Price:	60.0 USD
	BreakEven Price:	11.02 USD
Scenario 1 - Change over 1	BreakEven Quantity:	1248.34 units
	BreakEven Time Point:	0.18 time period
Scenario 2 - Change over 2	Regional costs:	1200.0 USD
	Profit:	337899.25 USD
Scenario 3 - Change over 3	Fixed Costs:	87900.75 USD
	Variable Costs:	1200.0 USD
Scenario 4 - Change over 4	Selling Quantity:	6900.0 units
	Processing Time:	0.0 time units
Scenario 1 - Change over 1	Selling Price:	60.0 USD
	BreakEven Price:	12.91 USD
Scenario 2 - Change over 2	BreakEven Quantity:	1465.01 units
	BreakEven Time Point:	0.21 time period
Scenario 3 - Change over 3	Regional costs:	1200.0 USD
	Profit:	324899.25 USD
Scenario 4 - Change over 4	Fixed Costs:	100900.75 USD
	Variable Costs:	1200.0 USD
Scenario 1 - Change over 1	Selling Quantity:	9200.0 units
	Processing Time:	0.0 time units
Scenario 2 - Change over 2	Selling Price:	60.0 USD
	BreakEven Price:	11.09 USD
Scenario 3 - Change over 3	BreakEven Quantity:	1681.67 units
	BreakEven Time Point:	0.18 time period
Scenario 4 - Change over 4	Regional costs:	1200.0 USD
	Profit:	449899.25 USD

Bild 5. Ergebnisoberfläche der Wirtschaftlichkeitsanalyse. Foto: Fraunhofer IPK

fördert außerdem die Interdisziplinarität in einem solchen Projekt erheblich, da alle Beteiligten demselben Modell zuarbeiten und ihre Entscheidungen anhand derselben Datenbasis treffen können. Besonders zu Beginn einer Planung können die wenigen vorhandenen Daten für jede Entscheidung konsolidiert betrachtet werden, anstatt dass jede Disziplin begrenzt auf eigene Daten zugreift.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist die Erstellung eines solchen Modells mit einem hohen Aufwand verbunden, was mit verschiedenen Gründen zusammenhängt. Zunächst wird die Softwareanbindung individuell für spezifische Fragestellungen entwickelt, wie in diesem Fall die hochautomatisierte Montagelinie, wodurch die Evaluation von neuen Fragestellungen eine erneute Programmierung der Schnittstellen impliziert. Der Aufbau eines Modells für ein Unternehmen inklusive der Dateneingabe ist ebenfalls ein zeitintensiver Prozess. Hierfür ist ein hoher Grad an Interdisziplinarität und Kommunikation mit den verschiedenen Abteilungen des Unternehmens notwendig. Zukünftig soll die Lösung hierbei durch generische Referenzmodelle und einen modularen Ansatz geschaffen werden, welcher durch Schnittstellen innerhalb des Prozessmodells Charakteristika verschiedener Fabriktypen variabel kombinierbar macht.

6 Fazit und Ausblick

Dieser Beitrag hat damit begonnen, die aktuellen Herausforderungen aus dem Umfeld der Fabrikplanung darzustellen und anschließend die Fähigkeiten zur Lösung dieser Probleme anhand von bereits bekannten Fabrikplanungsmodellen und Assistenzsystemen zur Datendurchgängigkeit zu bewerten. Anschließend wurde das Blue Print Plant Model als technologischer Lösungsansatz vorgestellt und anhand eines Use Cases verifiziert.

Während dieser Use Case lediglich einen kleinen Entscheidungsrahmen betrifft, lässt sich die Vorgehensweise jedoch auch auf größere Entscheidungen der Fabrikplanung skalieren. Aus kinematischen Modellen können variierende Durchlaufzeiten für verschiedene Produkte in das Prozessmodell übertragen werden. Aus der Simulation können ebenfalls verschiedene Szenarien in Bezug auf Mitarbeitenden, Fertigungsprinzipien oder Layouts bezogen werden. Neben diesen Validierungswerkzeugen werden

flexibel weitere Engineering-Tools über die Rest API Schnittstelle integriert. Damit wird eine integrierte Evaluation verschiedener Szenarien, zum Beispiel zusammen mit einer potenziellen Standortentscheidung über die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, datenbasiert möglich. Besonders das Frontloading wird hierbei unterstützt, wobei zu Beginn eines Planungsvorhabens anhand dieser integrierten Analyse fundierte Entscheidungen getroffen werden können, die nachhaltig Einfluss auf die Dauer und den Umfang der weiteren Planung nehmen. Wesentlich dabei ist, dass mithilfe dieses Ansatzes schnell Änderungen auf ihre Auswirkungen hin analysiert werden können, unabhängig von dem Fortschritt in der Fabrikplanung. Aufgrund der hohen Flexibilität setzt das Blue Print Plant Model demnach nicht nur auf eine Datenintegrität über den gesamten Fabrikplanungszyklus, sondern bis in das taktische und operative Geschehen hinein.

Im nächsten Schritt, nach der aktuellen Anwendung bei einem Hersteller für Heimwerkzeuge, wird die Technologie in der Prozessindustrie angewandt. Weiterhin sollen innovative Prinzipien aus der Ambidextrie und der Robustheit integriert werden und damit einen Mehrwert zur Handhabung von Dynamik leisten.

Literatur

- [1] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 5200 Blatt 1. Fabrikplanung. Beuth Verlag 2011
- [2] Nöcker, J. C.: Zustandsbasierte Fabrikplanung. Dissertation, RWTH Aachen, 2012
- [3] Loos, M. N.: Daten- und termingesteuerte Entscheidungsmethodik der Fabrikplanung unter Berücksichtigung der Produktentstehung. Dissertation, Karlsruhe Institut für Technologie, 2013
- [4] Aggteleky, B.: Fabrikplanung. Werkentwicklung und Betriebsrationalisierung. München: Hanser 1981
- [5] Bussemer, F.: Methode zur systematischen Strukturierung von Fabrikplanungsprojekten. Dissertation, Leibniz Universität Hannover, 2019
- [6] Graefenstein, J.: Methodik zur aufgabenorientierten Fabrikplanung. Dissertation, Technische Universität, 2019
- [7] Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S.: Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer 2011
- [8] Kampker, A.; Meckelnborg, A.; Deutsches, C. et al.: Synchrone Fabrikplanung. zwf 106 (2011) 3, S. 111–114
- [9] Dahmann, J. S.; Kuhl, F.; Weatherly, R.: Standards for Simulation: As Simple As Possible But Not Simpler. The High Level Architecture For Simulation. SIMULATION 71 (1998) 6, S. 378–387

- [10] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Specification Details of the Asset Administration Shell. Part 1 – The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0, 2022
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Industrie 4.0: Verwaltungsschale in der Praxis. Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen, 2020
- [12] Spur, G.; Mertins, K.; Jochem, R.: Integrierte Unternehmensmodellierung. Berlin, Wien u.a.: Beuth Verlag 1993
- [13] Fraunhofer IPK: MO²GO Unternehmensdesign, Analyse und Betrieb. Stand: 2018. Internet: https://www.ipk.fraunhofer.de/content/dam/ipk/IPK_Hauptseite/dokumente/themenblaetter/um-themenblatt-moogo-web.pdf. Zugriff am 19.02.2023
- [14] Lange, A.; Ihnen, D. M.; Knothe, T.: Blue Print Plant Model. Ein Modell zur Unterstützung des Fabrikplanungsprozesses. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 118 (2023) 3, S. 106–110

Deike Magret Ihnen

Annika Lange

Prof. Dr.-Ing. **Thomas Knothe**

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen
und Konstruktionstechnik IPK
Pascalstr. 8–9, 10587 Berlin
Tel. +49 30 / 39006-284
deike.magret.ihnen@ipk.fraunhofer.de
www.ipk.fraunhofer.de

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)