

Band 4

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe

Markus Rabe
Anne Antonia Scheidler (Hrsg.)

Drei Dutzend Jahre Simulationstechnik

Festkolloquium Dortmund, September 2022

Schriftenreihe Fortschritte in der IT in Produktion und Logistik

itpl IT in Produktion
und Logistik



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Markus Rabe (Hrsg.)

**Schriftenreihe Fortschritte in der
IT in Produktion und Logistik**

Band 4

Weitere Bände:

www.itpl.mb.tu-dortmund.de

Markus Rabe • Anne Antonia Scheidler (Hrsg.)

Drei Dutzend Jahre Simulationstechnik

Festkolloquium

Dortmund, September 2022

Kontaktadresse:

Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe
TU Dortmund, ITPL
Leonhard-Euler-Str. 5
44227 Dortmund
markus.rabe@tu-dortmund.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2022

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2022

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-7675-7
eISBN 978-3-7369-6675-8

Vorwort

Seit die Araber uns das indische Prinzip der Null in Verbindung mit dem dekadischen System nahegebracht haben, gilt als „rund“, was hinten eine Null prangen lässt. Die Null ist populär, obwohl ja in orientalen wie okzidental Traditionen die Zahl Zwölf in der Geschichte einen viel höheren Stellenwert hatte. Nicht umsonst musste Jerusalem zwölf Tore haben, Israel zwölf Stämme, Jesus zwölf Apostel, der Jahrkreis zwölf Sternzeichen und nicht zuletzt der Tag seit der mesopotamischen Zeit zwölf Stunden; unsere Großeltern kauften ganz selbstverständlich ein Dutzend Eier und nicht etwa zehn, wie heute, und selbst in mehreren Währungen hatte sich die Zwölf noch bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts erhalten. Die Jury im amerikanischen Gerichtssaal hat auch immer noch keine zehn Geschworenen (siehe Filmtitel). Selbst die europäische Flagge hat (unveränderlich) zwölf Sterne, die nicht wie in den USA für eine Anzahl von Staaten stehen, sondern für die „vollkommene“ Zahl.

Das Fachgebiet ITPL, an der TU Dortmund 2010 neu gegründet, hätte im Jahr 2020 Jubiläum feiern wollen, was die Pandemie leider verhindert hat. Wenn man die Feste nicht feiern kann, wie sie fallen, muss man die Feste wohl fallen lassen, wie man sie feiern kann, und dabei ist uns aufgefallen, dass der Fachgebietsleiter nach 24 Jahren (sic!) in Berlin jetzt zwölf Jahre in Dortmund sein wird. Das erscheint eine einmalige Gelegenheit, in geradezu antiker Tradition 3 dutzend Jahre Simulationstechnik in Produktion und Logistik mit einem Festkolloquium zu feiern. Wir freuen uns sehr, dass viele Menschen, die uns in dieser langen Zeit begleitet haben, sich der Mühe unterzogen haben, das Kolloquium mit einem Vortrag zu bereichern. Kurze Zusammenfassungen dieser Vorträge möchten wir Ihnen mit diesem Bändchen aushändigen, das darüber hinaus auch Zusammenfassungen zu den aktuell am ITPL behandelten Forschungsthemen enthält. Wir würden uns freuen, wenn dieses Büchlein den Teilnehmern als Information sowie als Erinnerung von Nutzen wäre und hoffen auf eine informative und fröhliche Veranstaltung.

Markus Rabe and Anne Antonia Scheidler,
September 2022

Grußwort des Dekans

Ohne Frage – wir leben im Zeitalter der Informationstechnik. Ihre Bedeutung wächst stetig, und keine Branche kann sich leisten, dabei ins Hintertreffen zu geraten. Die immense Wichtigkeit, die die IT quer durch alle Wirtschaftszweige hat, muss sich deshalb unmittelbar in der Ausbildung unserer Ingenieure spiegeln, wenn diese in den nächsten Jahrzehnten den Herausforderungen ihres Berufslebens erfolgreich begegnen sollen. Die Fakultät Maschinenbau hat dies frühzeitig erkannt und deshalb konsequent eine klassische Logistik-Professur nicht unverändert wieder besetzt, sondern ganz neu unter der Denomination „IT in Produktion und Logistik“ ausgeschrieben. Die Professur konnte 2010 mit Prof. Markus Rabe besetzt werden, der bereits mit der notwendigen Erfahrung in Forschung, Beratung und Ausbildung von der Fraunhofer-Gesellschaft in Berlin nach Dortmund kam. Am Lehrstuhl wurde in unmittelbarer Folge ein Lehrangebot für den Master Maschinenbau gestaltet, das auch von Studierenden der Logistik und des Wirtschaftsingenieurwesens gut angenommen wurde. War der Gedanke, ein werdender Ingenieur brauche zwingend Informationstechnik, zu Beginn für viele noch gewöhnungsbedürftig, so steht das Studium jetzt auf einer soliden Basis mit sehr hohen Teilnehmerzahlen: Im Verlauf eines Studienjahres legen 600 Masterstudierende in diesen Modulen eine Prüfung ab. Wir freuen uns, dass wir diese Entwicklung durch die Einrichtung einer Stelle für eine auf die Lehre fokussierte Oberingenieurin noch verstärken konnten. Wir konnten so auch Potentiale für die Forschung mobilisieren, die unter anderem mit der großen Zahl laufender Promotionsstudien belegt werden, wie sie auch in diesem Kolloquium dokumentiert sind. Darüber hinaus konnte das Fachgebiet seit seiner Gründung mit mehr als 80 wissenschaftlichen Publikationen und mehr als 200 Abschlussarbeiten seine Fortschritte dokumentieren. Die Fakultät hat somit mit ihrer wegweisenden Entscheidung für einen ganz neuen und interdisziplinären Ansatz innerhalb des Ingenieurwesens eine solide Grundlage gelegt, auf der seit nunmehr zwölf Jahren das ITPL erfolgreich aufbaut. Wir wünschen dem Fachgebiet auch weiterhin so viel Erfolg in Forschung und Lehre!

Dekanat Maschinenbau,
September 2022

Inhaltsverzeichnis

ENTWICKLUNGEN IN MODELLIERUNG UND SIMULATION

Simulation in Produktion und Logistik – Quo vadis? <i>Wenzel, Sigrid; Universität Kassel</i>	1
Transportlogistik und Simulation <i>Clausen, Uwe; Fraunhofer IML Dortmund</i>	3
Die ereignisdiskrete Simulation und ihr Verhältnis zu informationstechnischen Modetrends <i>Straßburger, Steffen; TU Ilmenau</i>	5
Simulation und Visualisierung – The Best is Yet to Come <i>Laroque, Christoph; Westsächsische Hochschule Zwickau</i>	7
36 minus 6 Jahre kommerzielle Simulationsstudien – Was hat sich geändert und was ist geblieben? <i>Spieckermann, Sven; SimPlan AG, Hanau</i>	9
Der agile digitale Zwilling <i>Deininger, Maik; TNG Technology Consulting GmbH, Unterföhring</i>	11
Hat das Geschäftsprozessmanagement als eigenständige Disziplin eine Zukunft? <i>Knothe, Thomas; Fraunhofer IPK Berlin</i>	13
Is the Last Mile Really the End? <i>Gutenschwager, Kai; Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel</i>	15
Simulation und Maschinelles Lernen – Konkurrenten oder Kompagnons für die automatisierte Entscheidungsunterstützung? <i>Rose, Oliver; Universität der Bundeswehr München, Neubiberg</i>	17

FORSCHUNG AM ITPL IN DORTMUND

Farming for Mining: Simulationsbasierte Wissensentdeckung in Logistischen Assistenzsystemen für Werkstoffhandelsnetzwerke <i>Joachim Hunker</i>	19
Analyse des Absatzes im Omni-Channel-Vertrieb durch mit Data Farming ergänzte Daten aus Synthese des Systemverhaltens <i>Tobias Klima</i>	21
Modellierungsmethodik für intralogistische Prozesse zur Einführung von Warehouse-Management-Systemen <i>Felix Stadler</i>	23
Integrierte Nachverfolgbarkeit – Einbindung in die Unternehmensarchitektur <i>Henrik Körsgen</i>	25
Methode für die Echtzeit-Prognose von Produktionskennzahlen zur multi-kriteriellen Maschinenbelegungsplanung für eine flexible Fließfertigung in der Stahlindustrie <i>Erwin Sirownik</i>	27
Gestaltungsmethodik für agile Produktionsnetzwerke auf Basis von Simulation und Machine Learning <i>Willian Vent</i>	29
Methode für AutoML-basierte Lösung von Qualitätssicherungsaufgaben im Bereich diskreter Produktion <i>Reza Jalali Sousanabady</i>	31
Mehrstufige Methode zur Wissensentdeckung in der Domäne der Produktion <i>Florian Hochkamp</i>	33
Echtzeitfähige datengetriebene Prozesse in Produktion und Logistik <i>Sean Paul Christiansen-Lenger</i>	35
Referenzmodell zur Zuverlässigkeitsprognose von Heizsystemen basierend auf Test- und Felddaten <i>Sahil-Jai Arora</i>	37
Effiziente Modellierung von Materialflusssystemen in der Angebotsphase durch ein Referenzmodell basierend auf der Wertstrommethode <i>Tobias Sohny</i>	39
Referenzmodell für die quantitative Absatzplanung innerhalb der Supply-Chain-Planung <i>Daniel Büttner</i>	41

Simulation in Produktion und Logistik – Quo vadis?

Sigrid Wenzel, Universität Kassel
 sigrid.wenzel@uni-kassel.de

Seit den 1980er Jahren hat sich die ereignisdiskrete Simulation mehr und mehr in Produktion und Logistik etabliert. Mit zunehmender Durchdringung der Anwendung wurden die Simulationswerkzeuge auf Modellierungs-, Simulations-, Experiment- und Auswertungsebene sowie in Bezug auf ihre Interoperabilität mit anderen Werkzeugen sukzessive weiterentwickelt. Nichtsdestotrotz scheinen weder alle Entwicklungstrends hinreichend bekannt oder relevant zu sein, noch genügen die Werkzeuge den Bedarfen der Industrie vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklungen zur digitalen Transformation. Der vorliegende Beitrag fasst, ausgehend von einer Standortbestimmung, die aktuellen Forschungs- und Entwicklungstrends zusammen.

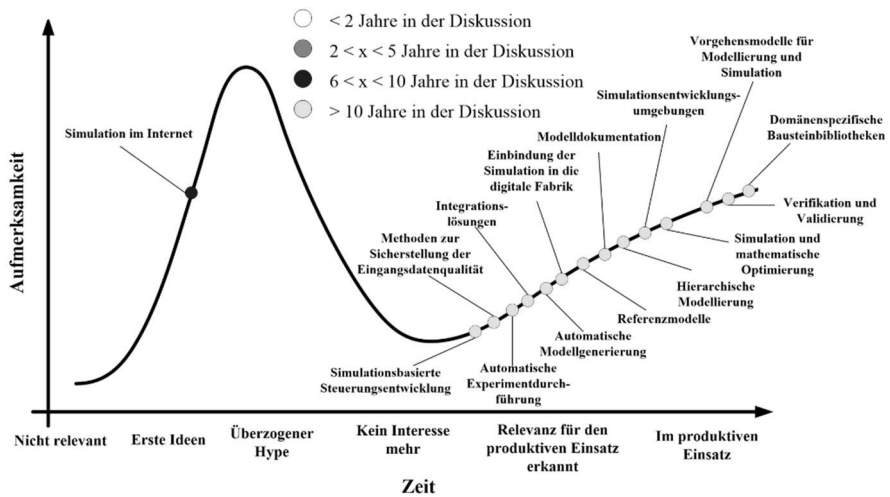


Abbildung 1: Gartner Hype Cycle basierend auf den Umfragedaten zur Studie 2013 (vgl. Peter und Wenzel 2013, S. 262)

Die Ergebnisse einer Studie in 2013 zum Einsatz der Simulation in Unternehmen, zum Einfluss der Simulation auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen sowie zum Entwicklungsstand der Simulation (Wenzel und Peter 2013) bestätigen, dass die Simulation als Analysemethode in vielen Unternehmen etabliert ist und ihr Einsatz ei-

nen positiven Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens hat. Die von der Industrie eindeutig benannten Entwicklungsthemen sind in Abbildung 1 eingetragen. Nicht aufgeführte Themen wurden in Bezug auf eine Einordnung in den Gartner Hype Cycle uneinheitlich bewertet. Dies betrifft Virtual Reality und 3D-Visualisierung (im produktiven Einsatz versus überzogener Hype) sowie Emulation, Interoperabilität von Modellen, Modellmanagementsysteme, Product Lifecycle Management, Simulation als Service und simulationsbasierte Assistenzsysteme (im produktiven Einsatz versus erste Ideen). Serious Games und Data Farming konnten 2013 fast gar nicht eingeschätzt werden. Ein Jahr später benennt der Wissenschaftsrat (2014) die Simulation als Schlüsseltechnologie und kritisiert, dass ihrer zunehmenden Bedeutung und ihrem Potenzial für Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft nicht hinreichend Rechnung in Forschung und Lehre getragen wird. Mayer und Mieschner (2019) wiesen eindringlich darauf hin, dass die Werkzeuge zur Ablaufsimulation als Baustein für Industrie 4.0 und digitale Zwillinge schnellstens weiterentwickelt werden müssen; sie benennen etwa die Anbindung an neue Methoden wie Big Data Analytics und die Interoperabilität zu anderen (Simulations-)Werkzeugen. Auch Wenzel et al. (2018) sprechen der Simulation die Rolle eines integralen Werkzeugs in den Entwicklungen im Kontext Industrie 4.0 zu. So kann die digitale Transformation in Produktion und Logistik nicht ohne die Ablaufsimulation umgesetzt werden, erfordert aber – wie der VDI mit seinen Thesen in Furmans et al. (2021) formuliert – Forschungen und Entwicklungen zur Modellbildung, zur Interoperabilität mit anderen Methoden sowie mit Produktions- und Logistiksystemen zum Aufbau digitaler Zwillinge, zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Simulationsmodellen sowie ihrer Validität und Prognosequalität, aber vor allem auch zur Umsetzung intelligenter Modelle und Assistenzsysteme auch unter Einbeziehung des maschinellen Lernens und der Datenanalyse. Zudem müssen Aus- und Weiterbildung forciert und Simulations- und Modellbildungskompetenz auch in kleinen und mittleren Unternehmen gestärkt werden. Nur so kann die Rolle der ereignisdiskreten Simulation in der Industrie langfristig gefestigt und als fester Bestandteil der digitalen Transformation etabliert werden – sei es als Planungs- und Analysewerkzeug, als Bestandteil eines digitalen Zwillings im laufenden Betrieb oder als Datenlieferant für Modelle der künstlichen Intelligenz.

Literaturverzeichnis

- Furmans, K.; Hanschke, T.; Möller, D.P.F., Rabe, M.; Wenzel, S.; Zabel, A.; Zisgen, H.: VDI-Thesen und Handlungsfelder – Simulation in Produktion und Logistik. VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik, September 2021.
- Mayer, G.; Mieschner, M.: Industrie 4.0 – Chance oder Risiko für die Ablaufsimulation. In: Wenzel, S.; Peter, T.: Simulation in Produktion und Logistik 2017, Kassel: kassel university press, 2017, S. 1-5.
- Wenzel, S.; Peter, T.: Simulation zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit – Ergebnisse einer Umfrage zur Simulation in Produktion und Logistik. In: Lödding, H.; Friedewald, A. (Hrsg.): Produzieren in Deutschland – Wettbewerbsfähigkeit im 21. Jahrhundert. Berlin: GITO mbH Verlag, 2013, S. 243-264.
- Wenzel, S.; Stolipin, J.; Jessen, U.: Ablaufsimulation in Industrie 4.0: Handlungsfelder für die industrielle digitale Transformation. In: Industrie 4.0 Management 34 (2018) 3, S. 29-32.
- Wissenschaftsrat (Hrsg.): Bedeutung und Weiterentwicklung von Simulation in der Wissenschaft, Positionspapier. Drucksache 4032-14, Dresden, Juli 2014.

*Drei Dutzend Jahre Simulationstechnik
Markus Rabe & Anne Antonia Scheidler (Hrsg.)
Festkolloquium ITPL, Dortmund, 29./30. September 2022*

Transportlogistik und Simulation

*Uwe Clausen, TU Dortmund
uwe.clausen@itl.tu-dortmund.de*

Gegenstand der Transportlogistik ist der externe Materialfluss, der Unternehmen mit seinen Lieferanten, Dienstleistern und Kunden sowie gegebenenfalls weiteren Standorten des Unternehmens verbindet. In der Modellierung spielen sowohl logistische Knoten wie beispielsweise Stückgutspeditionsanlagen, Paketverteilzentren, Häfen oder Flughäfen als oft schon komplexe Teilsysteme transportlogistischer Systeme, als auch die übergeordneten Transport- und Service-Netzwerke oder Distributionsnetze als „Makrostrukturen“ eine Rolle.

In Wissenschaft und Praxis werden die vorkommenden Transportnetze nach den zugrunde liegenden Konzepten, Gutarten und Serviceleveln unterschieden. Auch wird unterschieden nach der Zulieferung von Material an einen Produktionsbetrieb, der Distribution von Konsumgütern von den Herstellern zum Handel oder auch an private Empfänger sowie nach den Transportnetzwerken wie etwa Paket-, Express- oder Stückgutnetzwerken.

Die Simulation hat sich seit den 1980er Jahren als eine wichtige Technologie in Produktion und Logistik bewährt. In den Anfängen gab es eine Art Hype, als einige Manager behaupteten, dass in Zukunft alles bis ins Detail simuliert werden würde, bevor eine praktische Entscheidung getroffen wird. Nachdem man erkannt hatte, dass die Simulation ein wertvolles Instrument ist, was die Ergebnisse, aber auch den erforderlichen Aufwand betrifft, gab es eine – kurze – Phase der Enttäuschung, als einige unrealistische Erwartungen auf die tatsächlichen Vorzüge dieser großartigen Technologie heruntergebrochen wurden. Seit vielen Jahren erlebt die Zunft nun eine Phase des stabilen Wachstums, in der die Simulationstechnik die Anwendung durchdringt und auch neue Anwendungsfelder erobert.

Der Vortrag zeigt, wie die Simulation reale logistische Knoten wie etwa Stückgutspeditionsanlagen und Paketverteilzentren abbildet und wie Ergebnisse der Simulation für die Bestimmung von Grenzleistungen sowie für taktische und strategische Entscheidungen der Steuerung in der Transportlogistik genutzt werden.

Kurz wird die Kombination von Simulation mit Optimierung adressiert, ebenso wie die Verdienste des Kollegen Rabe und die Rolle am Logistikstandort Dortmund. Gerade für die Logistik wird Effizienz und Energie immer wichtiger und gesellschaftliche Ziele wie die Reduzierung des THG-Fußabdrucks unserer Industrie, des Handels und der sie verbindenden Logistik.

*Drei Dutzend Jahre Simulationstechnik
Markus Rabe & Anne Antonia Scheidler (Hrsg.)
Festkolloquium ITPL, Dortmund, 29./30. September 2022*

Die ereignisdiskrete Simulation und ihr Verhältnis zu informationstechnischen Modetrends

*Steffen Straßburger, Technische Universität Ilmenau
steffen.strassburger@tu-ilmenau.de*

Dem Motto dieses Festkolloquiums entsprechend schaut dieser Beitrag auf die Methode der ereignisdiskreten *Simulation* und ihr Verhältnis zu informationstechnischen Modetrends im Betrachtungszeitraum.

Im Grunde argumentieren wir, dass sich an der *Methode* der ereignisdiskreten Simulation im Betrachtungszeitraum – also in den letzten 36 Jahren – nichts Wesentliches geändert hat. Dies ist nicht als Kritik an der ereignisdiskreten Simulation zu werten, sondern könnte heute als *Resilienz* bezeichnet werden. Die ereignisdiskrete Simulation ist weiterhin hochrelevant und zeigt im Zusammenspiel mit informationstechnischen Neuerungen ihr nach wie vor großes Nutzenpotential.

Zur Unterstützung unserer Argumentation verweisen wir darauf, dass Simulatoren, die auf der Methode der ereignisdiskreten Simulation basieren, heute wie vor 36 Jahren intern Ereignisse und Ereignislisten verwenden, um die zeitliche Dynamik der mit ihnen erstellten Modelle abzubilden. So hat man vor 36 Jahren hierzu beispielsweise Simulationssprachen wie die General Purpose Simulation Language (GPSS) verwendet und konnte bei der Modellentwicklung und beim Debuggen direkt auf Grundkonstrukte der ereignisdiskreten Simulation wie die aktuelle und die zukünftige Ereignisliste zugreifen. Dieselben Konstrukte existieren in den modernen Simulatoren mit grafischer Benutzeroberfläche, wie etwa Plant Simulation, Anylogic oder Simio. Auch diese Simulatoren führen nach wie vor aktuelle Ereignisse aus, die wiederum zukünftige Ereignisse erzeugen. Selbst die Einteilung dieser zukünftigen Ereignisse in „B-Events“ (Ereigniszeitpunkt ist bekannt) und „C-Events“ (Ereigniszeitpunkt ist unbekannt und hängt von logischen Bedingungen ab) findet sich in modernen Simulatoren wieder. Der 3-Phasen-Ansatz nach Banks et al. (2005) lebt seit über 36 Jahren in fast jedem Simulator. Seine Implementierung kann, insbesondere bezogen auf das Scannen bedingter Ereignisse hocheffizient sein (Henriksen 2009) oder weniger effizient oder weniger nutzerfreundlich erfolgen.

Wo liegen nun also die Neuerungen?

Zum einen sind hier natürlich die Modellierung (heute meist grafisch mit Bausteinbibliotheken), die Visualisierung (jeder Simulator, der etwas auf sich hält, „kann heute 3D“) und die Unterstützung des Experimentierens zu nennen.

Aber wie hält es die ereignisdiskrete Simulation mit informationstechnischen Modetrends? Sie steht wie ein Fels in der Brandung. Und erlaubt es, von den Wellen umschlossen zu werden.

Betrachten wir zunächst das Aufkommen des World Wide Web (WWW). Und, ja, es gab die ereignisdiskrete Simulation schon lange, bevor es Internet und Email gab. Mit Aufkommen des WWW versuchte man, dessen Vorteile für den „Simulanten“ nutzbar zu machen. Noch weit bevor der Begriff der „Cloud“ aufkam, wurden Simulatoren auf Webserver verlagert und web-basierte Simulationsumgebungen entstanden (Lorenz et al. 1997). An der Methode änderte sich nichts, aber an der Art des Zugriffs und der Ausführung.

Betrachten wir sodann die verteilte Simulation. Über lange Zeit als Forschungsgebiet auf sehr spezielle Anwendungen des High Performance Computing beschränkt, gab es mit der High Level Architecture for Modeling and Simulation (HLA) seit Mitte der 1990er Jahre einen Standard, der versprach, ein Interoperabilitätsstandard zur Kopplung verschiedenster Simulatoren zu sein – dies schloss die ereignisdiskrete Simulation explizit mit ein. Diverse Forschungsarbeiten im universitären und außeruniversitären Bereich wurden hierdurch angestoßen. Änderungen an der Methode der ereignisdiskreten Simulation erforderte die HLA nicht – im Gegenteil, ihr Ziel war es gerade, bestehende Simulatoren einzubinden.

Die 2000er Jahre brachten den Trend der „Digitalen Fabrik“. Im Kern betrachtet sie unterschiedliche Planungs- und Simulationsmethoden und deren Vernetzung sowie durchgängige Nutzung. Die ereignisdiskrete Simulation stellt hierbei einen wichtigen Teil dar. Die Simulatoren mussten sich öffnen – etwa um an PLM-Systeme angebunden zu werden – und über Schnittstellen unterschiedlich erfolgreiche Versuche der automatischen oder teilautomatischen Modellgenerierung erdulden. Änderungen an der Methode der ereignisdiskreten Simulation ergaben sich hierdurch nicht.

Der aktuelle Modetrend lautet *künstliche Intelligenz* (KI) und *maschinelles Lernen*. Auch hier gilt wieder, dass die ereignisdiskrete Simulation wie ein Fels in der Brandung steht. Apokalyptiker, die mit Big Data und maschinellem Lernen der Simulation ein jähes Ende prophezeiten, dürften mittlerweile widerlegt sein. Es ist im Gegenteil so, dass maschinelles Lernen und Verfahren der KI die Erstellung von Simulationsmodellen geschickt ergänzen können, und dass die ereignisdiskrete Simulation oftmals sogar die Basis der Datengenerierung für KI-Verfahren liefert. Auch für die so entstehenden vielfältigen Spielarten der *hybriden* Simulation ergibt sich somit kein Änderungsbedarf an der Methode der ereignisdiskreten Simulation.

Und die Prognose für die Zukunft? Auch wenn wir in Dutzender-Schritten nach vorn schauen, wird die ereignisdiskrete Simulation lebendig und relevant sein, und mit dem technischen Fortschritt mithalten.

Literaturverzeichnis

- Banks, J.; Carson, J.; Nelson, B.; Nicol, D. (2005) Discrete event simulation. 4th Edition, Englewood Cliffs, NJ: Pearson Prentice Hall, 2005.
- Henriksen, J. (2009) Efficient modeling of delays in discrete-event simulation. In: Alexopoulos, C.; Goldsman, D.; Wilson, J. (Hrsg): Advancing the Frontiers of Simulation. Dordrecht u.a.: Springer 2009. S. 105-141.
- Lorenz, P.; Dorwarth, H.; Ritter, K.; Schriber, T. Towards a Web based simulation environment. In: Andradóttir, S.; Healy, K.; Withers, D.; Nelson, B. (Hrsg.): Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference. Piscataway, NJ: IEEE, S. 1338- 1344.

*Drei Dutzend Jahre Simulationstechnik
Markus Rabe & Anne Antonia Scheidler (Hrsg.)
Festkolloquium ITPL, Dortmund, 29./30. September 2022*

Simulation & Visualisierung – The Best is Yet to Come

*Christoph Laroque, Westsächsische Hochschule Zwickau
christoph.laroque@fh-zwickau.de*

In unserer Welt existieren reichlich Zitate über die Macht von Bildern und die Vorteile grafischer Darstellungen von komplexen Zusammenhängen. Auch im Gebiet der Simulation von Produktions- und Logistiksystemen gibt es eine lange Historie erfolgreicher Visualisierungsformen: Musste man sich in der etwas weiteren Vergangenheit noch mit recht rudimentären, zweidimensionalen Darstellungen von Modellen, Eingabe- und Ausgabedaten zufriedenstellen, arbeiten die kommerziellen Softwarelösungen heute mit leistungsfähigen 3D-Visualisierungen. Die Nützlichkeit von Visualisierungen muss daher hier nicht mehr prinzipiell diskutiert werden.

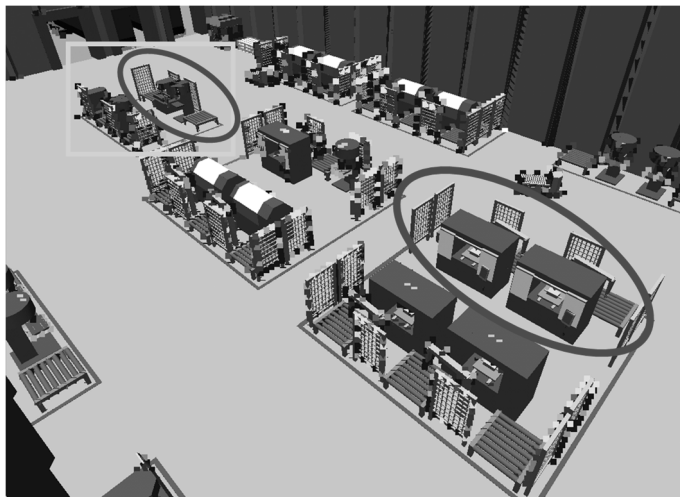


Abbildung 1: Beispiele einer 3D-Visualisierung für Materialflusssimulationen aus dem Jahr 2004 (Beispiel d³FACT)

Sieht man sich den Stand der Visualisierung in aktuellen Praxisprojekten an, ergeben sich aus den Prinzipien zur Gestaltung guter Visualisierungen einerseits und durch das Zusammensetzen einzelner Grafiken hin zu Dashboards, Berichten oder Stories andererseits durchaus noch signifikante Verbesserungspotentiale, die allerdings im Moment außerhalb der Simulationswerkzeuge erfolgen müssen. Hier können Best-Practices von Datenvisualisierungsprojekten aus den Bereichen Business Intelligence

und Business Analytics zweckdienlich sein und konkrete Mehrwerte in der Kommunikation der Ergebnisse liefern.

Richtet man den Blick zusätzlich zu den genannten Punkten der Zukunft entgegen, werden sich absehbar neue Möglichkeiten durch die beschleunigte Weiterentwicklung heute verfügbarer Technologien wie der Virtuellen Realität (VR) oder der Augmented Reality (AR) ergeben, die auch aus Sicht der Praxis und damit betriebswirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden könnten. Der Mehrwert und die Leistungsfähigkeit sind technisch heute wenig umstritten, erfordern aber einen signifikant erhöhten Aufwand, der sich in Zukunft durch neue Werkzeuge reduzieren wird. Darüber hinaus sind insbesondere durch die amerikanischen Social-Media-Konzerne recht konkrete Zukunftsbilder bekannt, die ein hybrides Leben und Arbeiten in realen und virtuellen Welten, im Metaversum, realistisch erscheinen lassen. Offen und in der wissenschaftlichen Community zu diskutieren ist, wie diese technischen Entwicklungen zweckdienlich genutzt werden könnten, um die unterschiedlichen Stakeholder von Simulationsstudien mit neuen Verfahren und Entscheidungsunterstützungssystemen zu begleiten, den Prozess der Modellbildung, Simulation, Szenarien- und Datenanalyse zu gestalten.



Abbildung 2: *Aktuelles Beispiel einer Datenvisualisierung in der virtuellen Realität*

Der Festvortrag wird die genannten Aspekte adressieren und nach einem knappen historischen Abriss – auch mit persönlichem Bezug – insbesondere auf die aktuellen und zukünftigen Möglichkeiten der innovativen Visualisierungs- und Kommunikationstechnologien eingehen. Aus verschiedenen Projekten werden Beispiele herangezogen, um die sich ergebenden Möglichkeiten vorzustellen und als Grundlage für weitere Diskussionen zu etablieren.

36 minus 6 Jahre kommerzielle Simulationsstudien – Was hat sich geändert und was ist geblieben?

*Sven Spieckermann, SimPlan AG, Hanau
sven.spieckermann@simplan.de*

Drei Dutzend Jahre Simulationstechnik lautet das Thema des Festkolloquiums. Auf mittlerweile immerhin zwei und ein halbes Dutzend Jahre Erfahrung in der kommerziellen Anwendung ereignisdiskreter Simulationssoftware kann der Autor dieses Beitrags zurückblicken. Vor diesem Hintergrund sind die folgenden Zeilen ein subjektiver, unvollständiger und ausdrücklich nicht wissenschaftlicher Versuch der Sammlung einer Reihe von Beobachtungen zu kommerziellen Simulationsstudien. Im Vordergrund steht dabei die Frage, was sich in den vergangenen drei Dekaden geändert oder eben auch nicht geändert hat. Gestreift werden Aspekte wie Simulation in der Lehre an Hochschulen und Universitäten, Rolle der Programmierung bei der Erstellung von Simulationsmodellen, Eigenschaften von Simulationswerkzeugen, Einsatzzeitpunkt der Simulation im Lebenszyklus realer Systeme und einiges mehr. Ohne zu viel vorwegzunehmen: Fast alles hat sich geändert und doch ist vieles noch so wie vor 30 Jahren!

Ganz anders als 1992 stellt sich heute das Lehrangebot im Bereich Simulation dar. Waren Simulationsvorlesungen vor dreißig Jahren noch vereinzelte Angebote an wenigen Fakultäten in Deutschland, finden sich heute entsprechende Kurse an so gut wie jeder Universität oder Hochschule entweder in der quantitativen Betriebswirtschaftslehre, in der Informatik oder in den Ingenieurwissenschaften. Das hat parallel bei vielen potenziellen Arbeitsgebern zu einem deutlichen Wandel des Anspruchs an die Qualifikation von Absolventen im Simulationsbereich geführt. Waren in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts Programmierkenntnisse eine der wesentlichen Voraussetzungen für den Berufseinstieg als künftiger Simulationsexperte, kommen heute regelmäßig zusätzlich erste Erfahrungen mit mindestens einem der gängigen ereignisdiskreten Simulationswerkzeuge als weitere Vorbedingung hinzu. Gleich geblieben hingegen sind die Grundlagen für eine fachgerecht durchgeführte Simulationsstudie und damit die elementaren Bestandteile einer Vorlesung, die in die Simulation einführt: die prinzipielle Funktionsweise der ereignisdiskreten Simulation, die Grundlagen der Statistik und der Versuchsplanung sowie Grundkenntnisse der Vorgehensweise bei Datensammlung, -aufbereitung und Modellierung waren und sind wesentliche Bausteine.

Wie bereits angedeutet hat sich ebenfalls nicht geändert, dass für den Aufbau fast aller größeren Simulationsmodelle Programmierkenntnisse und Programmierung notwendig sind. Wie sollte auch sonst ein realitätsnahes Modell entstehen können, wo

doch der (individuelle) Softwareanteil in automatisierten Produktions- und Logistiksystemen eine immer größere Rolle spielt. In diesem Zusammenhang steht ebenfalls unverändert das Versprechen vieler Softwarehersteller im Raum, dass Simulationsmodelle, insbesondere mit ihrem jeweiligen Simulationswerkzeug, auch ganz ohne Programmierung erstellt werden können. Das mag für ausgesuchte Anwendungsfälle richtig sein, in der Breite gilt es aber nicht – wobei sich erfreulicherweise die Unterstützung des Modellierenden bei der Programmierung in vielen Fällen deutlich verbessert hat: ob das verbesserte Editoren, Templates für bestimmte Codesequenzen, die Möglichkeiten bei der Fehlersuche oder gar Low Code Methoden sind – effizientes Programmieren wird heute von vielen Simulationswerkzeugen deutlich besser unterstützt als vor 30 Jahren, und natürlich tragen auch verbesserte Bausteine oder Objektbibliotheken zur Reduzierung des Programmieraufwands insgesamt bei.

Allerdings sind höhere Effizienz und verringerter Programmieraufwand aus kommerzieller Perspektive auch dringend erforderlich. Für viele Simulationsanwendungen etwa im Automobil- oder Logistikbereich erwartet der Markt heute eine deutlich zügigere Modellerstellung als das in der Vergangenheit der Fall war. Es ist keine Seltenheit, dass Studien heute mit 30-50 % des Zeitbudgets auskommen müssen, welches für die gleiche Aufgabenstellung Mitte der neunziger Jahre noch zur Verfügung gestellt worden wäre. Da hilft auch, dass Simulationswerkzeuge heute in vielen Fällen deutlich umfassendere Entwicklungsumgebungen sind als das früher der Fall war. Das darf selbstverständlich nicht darüber hinwegtäuschen, dass ein ereignisdiskreter Simulator bei der Modellausführung heute immer noch genauso arbeitet wie schon vor drei Dutzend Jahren. Im Hinblick auf die Eigenschaften von Simulationswerkzeugen spielt die Fähigkeit zur 3D-Darstellung von Modellen und Modellabläufen eine kontinuierlich wachsende Rolle. Dabei reicht es teilweise nicht mehr aus, dass ein Werkzeug 3D-fähig ist; vielmehr wird im Lichte von Lösungen aus der Spieleindustrie oder etwa angesichts von NVIDIAs Omniverse mitunter die Frage nach fotorealistischer Darstellung gestellt.

In Kürze einige weitere Beobachtungen aus der Perspektive der Simulationsdienstleistung: Unverändert geht die ereignisdiskrete Simulation „von oben nach unten“ durch die Märkte – große Unternehmen beginnen, kleine und mittlere ziehen (bis heute mitunter oft eher zögerlich) nach. Unverändert dominiert der Simulationseinsatz in der Planung. Betriebsbegleitende Simulation, die aktuellen Trends folgend wohl als digitaler Zwilling zu bezeichnen wäre, ist nach wie vor die große Ausnahme. Unverändert gibt es trotz der spürbar gewachsenen Bekanntheit der Simulationstechnik immer noch eine große Schar an „Unwissenden“, die noch keine Berührung mit ereignisdiskreter Simulation hatten. Auf der anderen Seite ist in manchen Bereichen der Industrie Simulation so selbstverständlich, dass für ihre Beschaffung und Bereitstellung das neudeutsche Wort „Commodity“ durchaus treffend ist: Simulation ist in manchen Anwendungsbereichen eine standardisierte Leistung, die von einer Reihe von Anbietern erbracht werden kann und die sich in erster Linie über den Preis differenziert. Hier wie auch an anderen Stellen trägt es regelmäßig zu höherer Aufmerksamkeit und stärkerer Differenzierung bei, anstelle der Begriffe Simulation und Simulationstechnik von Digitalisierung und Digitalen Zwillingen zu reden. Ob es nun an aktuellen „Buzzwords“ liegt oder daran, dass sich der Nutzen der Simulation an sich durchsetzt: Es hat sich nicht geändert, dass der Markt für ereignisdiskrete Simulation kontinuierlich wächst, und wir sehen heute eine deutlich stärkere kommerzielle Nutzung der Simulationstechnik als jemals zuvor in den vergangenen 36 Jahren!

Der agile digitale Zwilling

*Maik Deininger, TNG Technology Consulting, Unterföhring
maik.deininger@tngtech.com*

Die Einführung neuer Technologien in einem sich fortlaufend ändernden Umfeld stellt sowohl eine Chance als auch ein Risiko dar. Oft ergibt sich aus der Analyse der zu erwartenden Vorteile und die Auswirkungen auf die vorhandenen Prozesse ein erhebliches finanzielles und personelles Investment.

Eine dieser Technologien stellt der digitale Zwilling dar (Kritzinger et al. 2018). Dieser Zwilling kann beispielsweise eine digitale Repräsentation eines Produktionssystems sein. Mit diesem entsteht die Möglichkeit, den aktuellen Zustand des realen Systems zu überwachen und bei Problemen schnell zu reagieren. Ebenso erlaubt ein digitaler Zwilling, Vorhersagen zu treffen. Dies befähigt ein Unternehmen, auf Probleme proaktiv einzugehen, sodass das Problem verhindert oder zumindest schnellstmöglich gelöst werden kann. Weiterhin lassen sich mit Hilfe eines digitalen Zwillings alternative Abläufe analysieren und deren Auswirkungen ermitteln, ohne in das reale System eingreifen zu müssen. Auf diese Weise lassen sich Optimierungspotentiale aufzeigen und nach einer Evaluierung im realen System implementieren.

Produktionssysteme sind heutzutage komplex und befinden sich im ständigen Wandel (Westkämper und Zahn 2009). Dies erschwert die Entwicklung eines digitalen Zwillings erheblich und führt zu Kompromissen beim Detaillierungsgrad und dem Umfang des abgebildeten Modells, da die Abbildung des gesamten Systems mit allen Details zeitaufwendig und unwirtschaftlich ist. Infolgedessen lassen sich nur Aussagen zu ausgewählten Fragestellungen treffen.

Betrachtet man den digitalen Zwilling als Softwaresystem, das über einen langen Zeitraum betrieben und entwickelt wird, lässt sich dieser an immer weitere Fragestellungen anpassen und die gewonnen Erkenntnisse vergleichsweise schnell auf das reale System übertragen. Bei der Softwareentwicklung wird vorwiegend auf agile Methoden gesetzt, die sich zum Ziel setzen, ein Softwareprodukt iterativ in kleinen, abgeschlossenen Entwicklungspaketen zu entwickeln (Cohan et al. 2003). Mit jedem neuen Paket entsteht eine neue funktionsfähige Version der Software mit zusätzlichen oder überarbeiteten Funktionen.

Betrachtet man die mit einem digitalen Zwilling verfolgten Ziele und berücksichtigt die sich ständig wandelnden Anforderungen, wird ersichtlich, dass ein digitaler Zwilling fortlaufend anzupassen ist, damit dieser produktiv einsetzbar bleibt. Dies gleicht einem sich fortlaufend in der Entwicklung befindlichen Softwareprodukt mit regelmäßigen Releases. Für ein Produktionssystem, das auf mehreren Produktionslinien unterschiedliche Produkte herstellt, lassen sich beispielsweise für die Entwicklung eines digitalen Zwillings die folgenden Entwicklungspakete ableiten:

- Abbildung einer Maschine für ein Produkt
- Erstellen einer Produktionslinie für ein Produkt
- Verbinden mehrerer Produktionslinien
- Bereitstellen weiterer Funktionen

Das grundlegendste Entwicklungspaket ist die Abbildung einer Maschine und ermöglicht die Untersuchung eines einzelnen Produktionsschrittes. Ist dies vorhanden, können durch die Verknüpfung mehrerer Maschinen zu einer Produktionslinie und die Verbindung mehrerer Linien zu einem Produktionssystem komplexe Fragestellungen, wie beispielsweise die Ermittlung von Engpässen oder eine Reihenfolgeplanung, analysiert werden. Auf dieser Basis lassen sich schrittweise weitere Funktionen integrieren und beispielsweise zusätzlich Personal, Ressourcen oder auch Störungen oder Wartungen berücksichtigen. Ebenso lassen sich im Rahmen solcher Funktionserweiterungen Anpassungen an geänderte Rahmenbedingungen und Änderungen am realen Vorbild mit einbeziehen.

Diese Entwicklungspakete sind aus der Sicht der Softwareentwicklung mit der Annahme, dass alles neu zu entwickeln ist, betrachtet. Es existieren jedoch viele Softwarelösungen, die bereits Modelle für Maschinen und vieles andere bereitstellen. Deren Verwendung reduziert den Aufwand der Entwicklung erheblich, entbindet jedoch noch nicht davon, die erstellten Lösungen hingehend ihrer Korrektheit und Eignung zu prüfen. Für diese Prüfungen ist die oben aufgeführte Einteilung ebenfalls sinnvoll.

Herausfordernd bei einem solchen iterativen Vorgehen ist der mit jeder Erweiterung steigende Aufwand der Verifikation und Validierung. Insbesondere bei der Verifikation sollte auf schnell ausführbare, automatisierbare Tests gesetzt werden. Zum einen reduziert dies den manuellen Aufwand erheblich, zum anderen bietet es Sicherheit beim Entwickeln neuer Funktionen, da solche Tests jederzeit ausführbar sind und schnell ein Feedback liefern. Die Validierung ist nur bedingt automatisierbar, ist jedoch weniger oft durchzuführen. Insbesondere ist bei der Definition der Entwicklungspakete und beim Prüfen der Tests sicherzustellen, dass das Richtige umgesetzt wird.

Das aufgezeigte Vorgehen liefert einen Startpunkt für die agile Entwicklung als auch den agilen Betrieb eines digitalen Zwillings. Es bleibt jedoch zu untersuchen, wie sich vorhandene Vorgehensmodelle in ein solches Vorgehen integrieren lassen bzw. wie diese hierfür anzupassen sind.

Literaturverzeichnis

- Cohan, D.; Lindvall, M.; Costa, P. (2003) Agile Software Development. A DACS State-of-the-Art Report.
- Kritzinger, W.; Karner, M.; Traar, G. Henjes, J.; Sihm, W. (2018) Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC PapersOnLine 51-11 (2018), S. 1016-1022.
- Westkämper, E.; Zahn, E.; (2009) Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin: Springer, 2009.

Hat das Geschäftsprozessmanagement als eigenständige Disziplin eine Zukunft?

Thomas Knothe, Fraunhofer IPK Berlin
thomas.knothe@ipk.fraunhofer.de

Nach Stichweh (1994) zeichnet sich eine wissenschaftliche Disziplin durch einen *homogenen Kommunikationszusammenhang*, einen akzeptierten Korpus wissenschaftlichen Wissens und als Set von *Fragestellungen, Forschungsmethoden sowie paradigmatischen Problemlösungen* aus. Ferner muss eine angestrebte Karriere spezifisch für diese Disziplin sein.

Sieht man sich die überaus reiche Literatur zum Geschäftsprozessmanagement an, vermag die *provokative Aussage im Titel* des Aufsatzes bei der ersten Betrachtung *irritieren*. Auch der zweite Blick mit Bezug zur industriellen Bedeutung ergibt scheinbar eine eindeutige Bewertung, beispielsweise mit der Aussage von Tom Enders, ehemaliger CEO von AIRBUS SE in 2012: „Da spielt die Nationalität heute mit Verlaub keine Rolle mehr. Wir haben gesagt, wer hat die besten Prozesse, wer hat die besten Methoden etc.“ (Lincke 2012). Weiterhin sind viele erfolgreiche Umsetzungen auch von simulationsbasierten Methoden des Prozessmanagements bekannt, teilweise mit einer Reduktion der Durchlaufzeiten um über 80 % (Knothe 2000). Im Hinblick auf Karriereaspekte verdeutlicht allein die Anzahl von 822 neuen Stellen innerhalb von sieben Tagen mit der Bezeichnung „Prozessmanager/-in“ bei Stepstone die Relevanz des Prozessmanagements in der Industrie (Prozessmanager-Stellenanzeigen 2022).

Wird jedoch die akademische *Kohorte* des Prozessmanagements betrachtet, so ist eine ausgeprägte *Inhomogenität* zu beobachten, das im Ingenieurumfeld gleichermaßen anzutreffen ist wie in der Betriebswirtschaft sowie den jeweils angrenzenden interdisziplinären Gebieten (z. B. Wirtschaftsinformatik) oder Querschnittsbereichen (z. B. Qualitätsmanagement). Damit erklären sich die nur sehr wenigen eigenständigen Innovationen zum Prozessmanagement seit der Boomphase zwischen etwa 1991 und 2005. Selbst die Prinzipien des Process Mining wurden von Wim Van der Aalst bereits in 2001 diskutiert (Weijters und van der Aalst).

Die *industriellen Fragestellungen* des Geschäftsprozessmanagements sind ebenfalls teilweise *anderen Disziplinen zugeordnet*. Dazu gehören das Überwinden von Abteilungssilos in der Organisationsgestaltung oder die Unterstützung bei der IT-Systemintegration mit Hilfe der End-zu-End-Betrachtung von Prozessen. Auch hier „weidet“ das Prozessmanagement Innovationen anderer Kohorten seit längerem eher aus, als dass neue Aspekte erforscht werden. Dazu gehören die – wieder – aufkommenden Konzepte der künstlichen Intelligenz, etwa für Vorhersagen oder die Kopplung von Geschäftsprozesssimulation mit den betrieblichen Anwendungssystemen, die heute digitale Prozess-Twins genannt werden. Die Standardisierung hat darüber hinaus zu

Rückschritten geführt. Von über 50 angewendeten Modellierungsmethoden in den 90er Jahren bleiben heute nur noch wenige übrig. Dabei hat sich beispielsweise die BPMN, etabliert durch die OMG, für viele Anwendungsbereiche durchgesetzt, obwohl sie große Schwächen aufweist, ja sogar in ihrer Darstellungsweise den Zielen des Prozessmanagements entgegen wirkt.

In der *betrieblichen Praxis* erscheint das Anwendungsfeld Prozessmanagement ebenfalls *diffus*. In Analogie zu der Aussage von Warnecke zum Dienstleistungsengineering gilt: Fragt der Interessierte im Produktionsunternehmen nach, ob es auch eine Entwicklungsabteilung für die Produkte gibt, so erhält er im günstigsten Fall ein wohlwollendes Lächeln und den Hinweis, sich doch in das Gebäude C zu begeben. Fragt die gleiche Person nach einer Abteilung „Geschäftsprozessmanagement“ oder -entwicklung, so kann die Antwort durchaus lauten: „Was soll denn das sein?“. Wird dann noch nachgehakt, wer sich denn im Unternehmen um die Geschäftsprozesse kümmert, erhält man je nach Befragtem unterschiedliche Antworten von IT über Qualitätsmanagement bis Personalwesen.

Den aufgeführten Defiziten des Prozessmanagements können dabei durchaus Optionen zur Schaffung eines hinreichend eigenständigen Fußabdrucks entgegengestellt werden. In der folgenden exemplarischen Auflistung sind dazu bisher nicht hinreichend beantwortete Fragestellungen enthalten, die Unternehmen wie Wissenschaft gleichermaßen interessieren können:

- Resilienz: Was macht robuste Geschäftsprozesse genau aus?
- Vernetzung: Wie erfolgt das Mining von Prozessnetzen?
- Ambidextrie: Welche Gestaltungskriterien gilt es für die Synchronisation von exploitativen und explorativen Prozessen
- Simulation: Wie wird der dynamische Einfluss von Motivation und Engagement auf die Prozessleistung beschrieben und bewertet?

Die aus Sicht des Autors dissertationswürdigen Fragestellungen weisen auf das *Potenzial des Geschäftsprozessmanagement für eine eigenständige Disziplin* hin. Es muss nur gehoben werden.

Literaturverzeichnis

- Knothe, T.: Referenzmodell Auftragsdurchlauf für Dienstleistung und Verwaltung. In: Sigrid Wenzel (Hrsg.): Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. Delft, Erlangen: SCS 2000, S. 99–118.
- Lincke, F.: Waffengleichheit bei Rüstungskonzern. Deutschlandfunk 2012. Online verfügbar unter <https://www.deutschlandfunk.de/waffengleichheit-bei-ruestungskonzern-100.html>, zuletzt geprüft am 25.07.2022.
- Prozessmanager-Stellenanzeigen. Stepstone 2022. Online verfügbar unter <https://www.stepstone.de/jobs/prozessmanager-in?q=Prozessmanager%2Fin>., zuletzt geprüft am 20.08.2022.
- Stichweh, R.: Wissenschaft, Universität, Professionen. Soziologische Analysen. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1994.
- Weijters, T.; van der Aalst, W.: Process Mining: Discovering workflow models from event-based data. In: Kröse, B.; de Rijke, M.; Schreiber, G.; van Someren, M. (Hrsg.): Proceedings of the 13th Belgium-Netherlands Conference on Artificial Intelligence (BNAIC), Amsterdam, 25.–26. Oktober 2001. S. 283–290.

Is the Last Mile Really the End?

*Kai Gutenschwager, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften,
Wolfenbüttel
k.gutenschwager@ostfalia.de*

Die COVID-19-Pandemie hat den Wandel zu mehr Online-Shopping in den letzten zwei Jahren deutlich beschleunigt. Aus Sicht der Logistik umfasst die letzte Meile eines der teuersten und umweltschädlichsten Segmente der Lieferkette des Einzelhandels, in dem Unternehmen Waren an Endkunden liefern (Brown und Guiffrida 2014). Das Kundenverhalten verursacht dabei einen Großteil der Kosten für die letzte Meile, auch durch verpasste Lieferungen und Rücksendungen. Vor dem Hintergrund hoher Energiekosten und Emissionen ist es überaus sinnvoll, entsprechende Liefernetzwerke künftig auch auf Basis der CO₂-Emissionen zu bewerten und auszuwerten.

Der Trend zu grünen Lieferketten hat hier zu unterschiedlichen Entwicklungen geführt. Eine mögliche Distributionsstrategie als Alternative zur direkten Belieferung von Kunden auf Auslieferungstouren sind Lieferungen über so genannte *Automated Parcel Lockers* (APL). APLs bzw. Packstationen besitzen elektronische Schlösser mit variablen Öffnungscodes und können somit von verschiedenen Kunden verwendet werden. Die Kosten für die Lieferung von Paketen durch APLs sind typischerweise niedriger als bei der direkten Lieferung nach Hause, und das Risiko einer verpassten Lieferung wird vermieden. Sowohl für Direktlieferungen an Kunden als auch für die Belieferung der APLs werden in aller Regel Touren geplant, wobei APLs bei hohen Transportmengen auch als einfache Transportrelationen ausgelegt werden können.

Aus Sicht der Simulation existieren mehrere Möglichkeiten auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen, Bewertungsmodelle für die Touren zur Verteilung der Waren aufzubauen:

- *Abstrakt:* Kundengruppen werden vorab zu Gebieten zusammengefasst und empirische Ergebnisse zu voraussichtlichen Tourlängen in Abhängigkeit der Anzahl Tourstopps und der Größe der Gebiete als Parameter zur statischen Berechnung der mittleren Tourlängen genutzt: Abzubilden sind dann Fahrten von den Lagerstandorten in die Gebiete, und die Feinverteilung innerhalb der Gebiete als statische Berechnung.
- *Detaillierte Betrachtung von Gebieten:* Gebiete werden wiederum definiert, aber für jede Tour zur Distribution der Pakete innerhalb des Gebietes werden Instanzen des *Traveling-Salesman-Problems* gelöst. Für diese Detaillierung müssen Kundenstandorte gegeben sein oder per Zufall bestimmt werden.

- *Detaillierte Betrachtung des gesamten Distributionsnetzwerks*: Statt einer Vorabenteilung des Kundengebiets in Teilgebiete werden innerhalb einer Simulation zufällig erzeugte Instanzen des *Vehicle Routing Problems* mit den relevanten Restriktionen hinsichtlich der Kapazitäten der Fahrzeuge und möglichen weiteren Restriktionen, beispielsweise bezüglich der Anlieferzeitfenster, maximalen Einsatzzeiten der Fahrer oder Tourdauern, gelöst.

In diesem Beitrag wird ein entsprechendes Beispiel für die Stadt Dortmund vorgestellt, in dem diese drei Modellierungsansätze miteinander verglichen werden. Der Fokus liegt dabei auf der Auswertung der gefahrenen Kilometer und den damit verbundenen CO₂-Emissionen, um insbesondere die Ergebnisgüte der abstrakten Modelle zu bewerten.

Mit Blick auf die letzte Meile ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Distributionsnetzwerke im Fall des Einsatzes von APLs nicht vollständig modelliert sind, und weitere Annahmen darüber getroffen werden müssen, wie Kunden die APLs erreichen. Vereinfacht lassen sich drei verschiedene Typen für die Abholung von Paketen unterscheiden (vgl. Gutenschwager et al. 2022):

- Kunden nutzen ihr eigenes Auto für eine einzelne Fahrt zum APL und zurück (Worst Case).
- Kunden nutzen ihr Auto, legen aber nur einen Zwischenhalt am APL auf einer individuellen Tour ein, wodurch ein – geringerer – zusätzlicher Kraftstoffverbrauch für die Abholung des Pakets am APL entsteht.
- Kunden in der Nähe eines APL gehen zu Fuß zum APL oder nehmen das Fahrrad, was keinen weiteren Kraftstoffverbrauch verursacht (Best Case).

Für eine Schätzung der gefahrenen Kilometer von Kunden zu den APLs wird ein einfaches Modell vorgestellt, das auf zufällig generierten Kundenstandorten (basierend auf der Fläche und der Einwohnerzahl der Liefergebiete) und einer festen Zuordnung von Kunden zu gegebenen APLs eines Liefergebiets basiert. Es werden erste Ergebnisse präsentiert, die auf entfernungsabhängigen Verteilungen bezüglich der drei genannten Typen des Kundenverhaltens zur Abholung der Pakete basieren. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Direktbelieferung von Kunden bei einer geringen Anzahl von APLs (pro Gebiet) tatsächlich zu geringeren Gesamtdistanzen und entsprechenden geringeren CO₂-Emissionen führen kann.

Literaturverzeichnis

- Brown, J.; Guiffida, A. (2014) Carbon emissions comparison of last mile delivery versus customer pickup. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 17(6), S. 503–521.
- Gutenschwager, K.; Rabe, M.; Kuhl, M.; Chicaiza-Vaca, J. (2022) Retail. Erscheint in: Rabe, M.; von Viebahn, C.; Straßburger, S.; Wenzel, S. (Hrsg.): *Energy-related Material Flow Simulation in Production and Logistics*, Cham: Springer International.

Simulation und Maschinelles Lernen – Konkurrenten oder Kompagnons für die automatisierte Entscheidungsunterstützung?

*Oliver Rose, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
oliver.rose@unibw.de*

Rationale Entscheidungen, egal welcher Natur, werden praktisch immer auf der Basis von Modellen getroffen. Dabei reicht die Bandbreite von intuitiven mentalen Modellen über Simulationsmodelle bis hin zu streng formalen mathematischen Modellen der Systeme, für die oder in denen die Entscheidungen getroffen werden sollen. Insbesondere für eine automatisierte Entscheidungsunterstützung bedarf es einer gewissen Formalisierung des über das System bekannten Wissens, vor allem seiner Struktur und seines Verhaltens. Das intuitive, von der oft großen Erfahrung geprägte Wissen des Systemexperten ist somit nicht direkt nutzbar. Daher verwendet man aushilfsweise formale oder semiformale Techniken, um zu Modellen zu kommen, die mit einem Computer mit möglichst geringem Aufwand anwendbar sind.

Wegen der Anforderungen an die Ausführungsgeschwindigkeit werden dabei häufig möglichst einfache und damit sehr abstrakte mathematische Modelle genutzt, die von Struktur und Verhalten des Realsystems nur recht wenige, hoffentlich relevante Charakteristika abbilden. Häufig ist die Qualität der Resultate aber nicht ausreichend für eine zufriedenstellende Entscheidungsfindung bei komplexen Systemen, die regelmäßig auch noch von Zufällen wie beispielsweise Ausfällen, Störungen oder Wetterbedingungen geprägt sind. Ein weiteres praktisches Problem ist die mangelnde Erklärbarkeit von solchen abstrakten Modellen sowie der daraus abgeleiteten Entscheidungen. Es werden nur Modelle genutzt, denen man vertraut, selbst wenn man sie nicht völlig verstanden hat.

Hier kommen nun die Simulationsmodelle ins Spiel, insbesondere solche auf ereignisorientierter Basis. Dieser Modelltyp hat den besonderen Charme der Verständlichkeit, auch für den nicht mathematik-affinen Betrachter. Man erkennt ohne Probleme die Abbildung etwa der Strukturen, Objekte, Prozesse und Steuerungsmechanismen des Realsystems, die einem in mathematischen Modellen oft verborgen bleibt. Dadurch ergeben sich erhebliche Vorteile bei der Validierung von Simulationsmodellen, die nun gemeinschaftlich zwischen Modellierer und Anwender stattfinden kann. Dies steigert die Akzeptanz der Modelle als Basis der Entscheidungsunterstützung. Zudem kann intuitives Wissen der Systemexperten während der Modellbildung viel einfacher einfließen als bei abstrakteren Ansätzen. Die Erfahrungen aus vielen Simulationsprojekten zeigen, dass diese Art von Modellen sich sehr gut als Kommunikations- und Diskussionsgrundlage eignet. Doch die Kehrseite der Simulationsmodelle ist die im Vergleich zu abstrakten mathematischen Modellen oft

um Größenordnungen höhere Ausführungsdauer. Bei einem festen Zeitbudget für eine Entscheidung können dadurch erheblich weniger Konfigurationen analysiert werden. Erschwerend kommt bei Simulation mit stochastischen Komponenten hinzu, dass die erzeugten Ergebnisse dann selbst wieder zufällig sind und geeignete statistische Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die Variabilität der Ergebnisse so weit zu kontrollieren, dass zuverlässige Entscheidungen getroffen werden können. Auch das kostet Zeit. Somit ist die simulationsbasierte Unterstützung nur bei sporadischen Entscheidungen brauchbar, wenn die Dauer zur Bestimmung der benötigten Leistungsgrößen nicht kritisch ist. Spätestens bei der betriebsbegleitenden oder Online-Entscheidungsunterstützung sind Simulationsexperimente zu zeitaufwendig. Ein weiterer Nachteil kann der große Bedarf an entsprechender Hardware zur Durchführung der Experimente sein, der meist gegen einen Einsatz in mobilen Geräten spricht.

Alternativ wird in letzter Zeit zur Bewältigung der Probleme mit dem Zeitaufwand und der Größe der Experimentierumgebung konkurrierend die Anwendung maschineller Lernverfahren untersucht. Dies ist im Gegensatz zu den oben beschriebenen Modellierungsansätzen, bei denen Struktur und Verhalten existierender Systeme abgebildet wird, ein rein datengetriebener Ansatz. Durch geeignete Verfahren des überwachten, unüberwachten oder verstärkenden Lernens wird versucht, auf der Basis von Daten über die Konfiguration, den Zustand und mögliche Änderungsoptionen des Systems sowie der resultierenden Leistungsdaten und entsprechender Handlungsmöglichkeiten bei der Entscheidungsfindung ein statistisches Modell zu bestimmen, das das System für den Einsatzzweck möglichst gut repräsentiert. Bekanntes Wissen über das System geht bestenfalls bei der Auswahl der Lerndaten ein. Nach Beendigung des Lernvorgangs ist die Antwortzeit des Modells äußerst gering und die Modellgrößen sind für mobile Endgeräte geeignet. Ähnlich wie bei den sehr abstrakten mathematischen Modellen ist für den Entscheider jedoch meist nicht mehr erkennbar, wie die Entscheidung zustande kam. Zudem hängt die Qualität der Unterstützung selbst bei optimaler Wahl des maschinellen Lernverfahrens fast ausschließlich von den Lerndaten ab. Darüber hinaus existieren die bekannten Probleme statistischer Modelle beim Wechseln des Kontextes der Entscheidungen oder prinzipiell beim Auftauchen neuer Phänomene, die in den bisherigen Daten nicht abgebildet waren.

Somit haben die Konkurrenten Simulationsmodell und maschinell gelerntes Modell letztlich komplementäre Stärken und Schwächen in Bezug auf Ausführungsgeschwindigkeit, Modellgröße, Erklärbarkeit und Vertrauenswürdigkeit. Nichts liegt also näher, als die beiden Ansätze mittels Data Farming geeignet zu verbinden. Hierbei nutzt man validierte Simulationsmodelle zur Erzeugung großer Mengen von Leistungsdaten für zahlreiche Konfigurationen auf leistungsfähiger Hardware, bevor die Entscheidungen benötigt werden. Es handelt sich somit um die Erzeugung einer möglichst großen und repräsentativen Datenstichprobe, die anschließend als Grundlage für das maschinelle Lernen dient. Falls das daraus resultierende statistische Modell nicht gut genug ist, werden weitere Daten erzeugt. Selbst die Beimischung von Realdaten zu den Lerndaten ist in der Regel kein Problem.

Durch die Offline-Nutzung vertrauenswürdiger Simulationsmodelle zur Lerndatenerzeugung für statistische Modelle, die die automatisierte Online-Entscheidungsfindung unterstützen, werden somit aus konkurrierenden Ansätzen sich ganzheitlich ergänzende Kompagnons.

Farming for Mining: Simulationsbasierte Wissensentdeckung in Logistischen Assistenzsystemen für Werkstoffhandelsnetzwerke

*Joachim Hunker, TU Dortmund
joachim.hunker@tu-dortmund.de*

Werkstoffhandelsnetzwerke (WHNW) weisen komplexe, sich stetig verändernde Strukturen auf. Die Beherrschung dieser Komplexität ist eine wesentliche Aufgabe für das Supply-Chain-Management (SCM). Die Herausforderung besteht insbesondere in der Lösung logistischer Aufgabenstellungen. Um mögliche Entscheidungsalternativen bewerten zu können, werden häufig Logistische Assistenzsysteme zur Unterstützung eingesetzt (Kuhn et al. 2008). Grundlage dafür sind Beobachtungsdaten, die in den logistischen Prozessen in WHNW entstehen. Eine häufig genutzte Methode in diesem Kontext ist die Wissensentdeckung in Datenbanken. Typischerweise wird die Wissensentdeckung als Vorgehensmodell beschrieben (Fayyad et al. 1996). Dessen zentrale Phase ist das Data Mining, um mit Hilfe einer Sammlung von Verfahren unbekannte, nützliche Muster zu finden. Data Mining basiert wesentlich auf einer validen Datenbasis. Deren zielgerichtete Erstellung ist, z. B. aufgrund mangelnder Datenqualität, zeitaufwendig und benötigt ca. 61 % bis 80 % der gesamten Zeit der Wissensentdeckung (Munson 2012). Eine Alternative dazu ist die Nutzung der Simulationstechnik zur simulationsbasierten Generierung von synthetischen Daten, genannt Data Farming. Data Farming ist ein Prozess, um, auf Basis eines Simulationsmodells in Kombination mit gezieltem Experimentdesign, eine möglichst umfassende Datenbasis für folgende Analysen zu generieren (Sanchez 2018).

Im Kontext der Forschungstätigkeiten wird eine Methode zur Kombination von Data Farming und Wissensentdeckung in Datenbanken vorgestellt. Diese unterstützt Verantwortliche aus dem SCM in WHNW bei der Beantwortung von logistischen Aufgabenstellungen aus der Distribution. Die Methode ermöglicht eine gezielte, auf die Verfahren der Wissensentdeckung ausgerichtete Datengenerierung und erlaubt eine umfassende und wertschöpfende Analyse. Um dies zu erreichen, werden für die Methodenelemente bestehende Vorgehensmodelle untersucht, unter Nutzung der UML2 formalisiert und um notwendige Erweiterungen ergänzt. Durch eine Initialisierung wird eine anwendungsfallspezifische Konfiguration der Methode, in Abhängigkeit von Fragestellung und Data-Mining-Verfahren, ermöglicht. Für das Data Farming wird ein erweitertes Vorgehensmodell auf Basis etablierter Modelle vorgestellt und integriert. Insbesondere sind die Struktur sowie die Art und Weise der Speicherung relevant. Dies begründet sich zum einen in den Charakteristika der synthetischen Daten, wie beispielsweise Volumen und Vernetzung, und zum anderen im Einfluss

der Modellierung auf die Analyse. Die Nutzung von Graphdatenbanken ermöglicht eine durchgängige Modellformalisierung des WHNW im mathematischen Graph und eine persistente, native Speicherung der Daten als Graph sowie die Anwendung von spezifischen Graph-Mining-Verfahren auf der synthetischen Datenbasis. Deren Anwendung ist Kern der Wissensentdeckung, welche durch ein spezifisch angepasstes und auf das Data Farming ausgerichtetes Vorgehensmodell beschrieben wird. Abbildung 1 zeigt die beschriebenen Zusammenhänge auf Ebene der Methode auf.

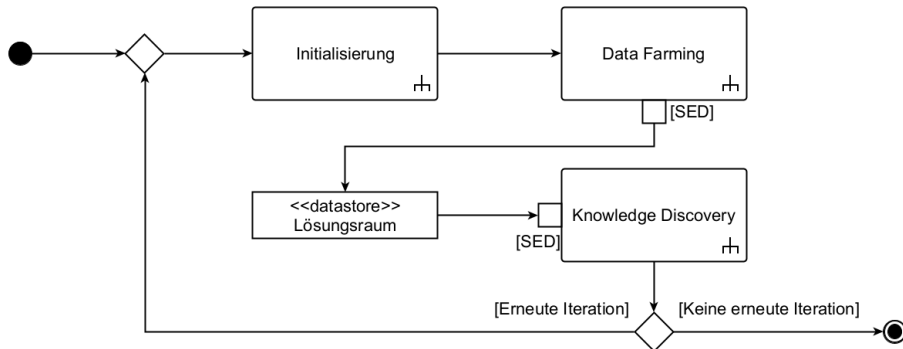


Abbildung 1: Methode zur Kombination von Data Farming und Data Mining

Auf Basis der Methode wird eine Software vorgestellt, die ein SCM in der Durchführung einer Farming-for-Mining-Studie unterstützt. Diese ist modular konzipiert, sodass sich die Software in unterschiedliche Logistische Assistenzsysteme für WHNW integrieren lässt. Die Anwendbarkeit der Methodik und der zugehörigen Software wurde in ersten Praxisstudien evaluiert. Abschließend ist zu konstatieren, dass die entwickelte Methode das SCM bei der Beantwortung von logistischen Aufgabenstellungen in WHNW unterstützt und eine anwendungsspezifische, umfassende Wissensentdeckung auf synthetischen Daten ermöglicht.

Literaturverzeichnis

- Fayyad, U. M.; Piatetsky-Shapiro, G.; Smyth, P.: From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *AI Magazine* 17 (1996) 3, S. 37–54.
- Kuhn, A.; Hellingrath, B.; Hinrichs, H.: Logistische Assistenzsysteme. In: *Software in der Logistik*. München: Huss 2008, S. 20–26.
- Munson, M. A.: A Study on the importance of and time spent on different modeling Steps. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter* 13 (2012) 2, S. 65–71.
- Sanchez, S. M.: Data Farming: Better data, not just Big Data. In: Rabe, M.; Juan, A. A.; Mustafee, A.; Skoogh, S. J.; Johansson, B. (Hrsg.): *Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference (WSC)*. Piscataway, New Jersey: IEEE Press 2018, S. 425–439.

*Drei Dutzend Jahre Simulationstechnik
Markus Rabe & Anne Antonia Scheidler (Hrsg.)
Festkolloquium ITPL, Dortmund, 29./30. September 2022*

Analyse des Absatzes im Omni-Channel-Vertrieb durch mit Data Farming ergänzte Daten aus Synthese des Systemverhaltens

*Tobias Klima, Vorwerk & Co. KG, Wuppertal
tobias.klima@tu-dortmund.de*

Im Folgenden wird ein Überblick über die Forschung zu dem genannten Dissertationsthema gegeben. Im Rahmen der Arbeit wurden unterschiedliche Themenbereiche betrachtet. Diese umfassen den Stand der Technik für Prozesse im Vertrieb, Data Farming sowie Methoden für Absatzprognosen.

Bei Betrachtung der Entwicklung von Vertriebsstrukturen fällt auf, dass Unternehmen in Deutschland, aber auch weltweit, eine Zunahme an Vertriebskanälen verzeichnen (Schmitz und Wieseke; Zentes und Schramm-Kleine 2006; Wittmann und Deichner 2020; Universität Mannheim 2021). Für diese Diversifizierung der Vertriebskanäle kann eine Vielzahl von Gründen genannt werden. Zu den wichtigsten Faktoren zählen neben der Loyalitätssteigerung der Kunden die verbesserte Verfügbarkeit von Gütern sowie die erhoffte Umsatzsteigerung der Unternehmen (Kushwaha und Shankar 2005; Neslin et al. 2006). Die Literatur weist keine allgemein akzeptierte Definition zur Einteilung von Mehrkanalvertriebssystemen auf. Beck und Rygl greifen diese Problematik auf und schlagen eine Unterteilung in die drei Klassen Multi-Channel, Cross-Channel sowie Omni-Channel für den Vertrieb vor (Beck und Rygl 2015).

Zu konstatieren ist, dass bisher keine Publikationen zum Thema Data Farming im Bereich Vertrieb veröffentlicht wurden. Da die Methode des Data Farmings aus dem militärischen Bereich kommt, bezieht sich der Großteil der Literatur auf dieses Anwendungsfeld (Horne und Schwierz 2008). Dies zeigt auch eine Literaturrecherche aus dem Jahr 2021 zum Thema Data Farming in Produktionssystemen. Von 861 untersuchten Publikationen wurden durch die weitere Analyse der Literatur die Anzahl relevanter Publikationen auf 31 Schriften reduziert. Ein hoher Anteil der aussortierten Publikationen befasst sich mit dem landwirtschaftlichen Kontext von Data Farming, der mit dem hier behandelten Data Farming keine Berührungspunkte aufweist. Der Rest der aussortierten Publikationen stammt zum großen Teil aus militärischen Anwendungen. Die 31 übrigen Publikationen teilen sich in Grundlagen des Data Farmings (11) und in Data Farming mit Anwendung in Produktionssystemen (20) auf (Lechler et al. 2021).

Um die Relevanz von Absatzprognosen für Unternehmen in der Praxis zu bestimmen, wurde eine Studie betrachtet, die Unternehmen zum Thema Absatzprognose befragt. Für alle untersuchten Dimensionen wird aufgezeigt, dass Verbesserungspotenzial in diesen Bereichen vorhanden ist (Vereecke et al. 2018).

In den nächsten Schritten der Dissertation sollen die Erkenntnisse zu Data Farming aus anderen Bereichen auf den Omni-Channel-Vertrieb übertragen und an einem Praxisbeispiel des Unternehmens Vorwerk die Anwendung für Unternehmen dargelegt werden.

Literaturverzeichnis

- Beck, N.; Rygl, D.: Categorization of multiple channel retailing in Multi-, Cross-, and Omni-Channel Retailing for retailers and retailing. In: *Journal of Retailing and Consumer Services* 27 (2015) 2, S. 170–178. DOI: 10.1016/j.jretconser.2015.08.001.
- Wittmann, G.; Deichner, N.: Der deutsche Einzelhandel 2020 – Zweite IHK-ibi-Handelsstudie. Ergebnisse einer deutschlandweiten Händlerbefragung zum Einfluss der Digitalisierung auf den deutschen Einzelhandel. Regensburg: ibi research 2020.
- Horne, G. E.; Schwierz, K.-P.: Data Farming around the world overview. In: Mason, S.J., Hill, R.R., Mönch, L., Rose, O., Jefferson, T., Fowler, J.W. (Hrsg.): *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. Piscataway, NJ; IEEE 2008, S. 1442–1447.
- Kushwaha, T. L.; Shankar, V.: Multichannel shopping behavior: Antecedents and implications for channel and customer equity. Working paper. College Station: Texas A&M University 2005.
- Lechler, T.; Sjarov, M.; Franke, J.: Data farming in production systems – A review on potentials, challenges and exemplary applications. In: *Procedia CIRP* 96 (2012), 4 S. 230–235. DOI: 10.1016/j.procir.2021.01.156.
- Neslin, S. A.; Grewal, D.; Leghorn, R.; Shankar, V.; Teerling, M. L.; Thomas, J. S.; Verhoef, P. C.: Challenges and opportunities in multichannel customer management. In: *Journal of Service Research* 9 (2006) 2, S. 95–112. DOI: 10.1177/1094670506293559.
- Zentes, J.; Schramm-Kleine, H.: (2006): Status quo des Multi-Channel-Managements im deutschen Einzelhandel, *Marketing Review* St. Gallen 23 (2006) 4, S. 6–10.
- Schmitz, C.; Wieseke, J.: Schwerpunkt – Excellence in Sales Management. Interview mit Reiner Strecker. *Marketing Review* St. Gallen 32 (2015) 6, S. 3.
- Universität Mannheim (Hrsg.): *Situation der Direktvertriebsbranche in Deutschland*. Berlin: Bundesverband Direktvertrieb Deutschland 2021.
- Vereecke, A.; Vanderheyden, K.; Baecke, P.; van Steendam, T.: Mind the gap – Assessing maturity of demand planning, a cornerstone of S&OP. In: *IJOPM* 38 (2018) 8, S. 1618–1639. DOI: 10.1108/IJOPM-11-2016-0698.

Modellierungsmethodik für intralogistische Prozesse zur Einführung von Warehouse-Management-Systemen

*Felix Stadler, TU Dortmund
felix.stadler@tu-dortmund.de*

Aufgrund der zunehmenden Komplexität in intralogistischen Systemen wird der Einsatz von Warehouse-Management-Systemen (WMS) für Unternehmen immer attraktiver. Als oftmals unternehmenskritisches Managementsystem der innerbetrieblichen Materialflüsse ist deren Einführung oder Wechsel jedoch komplex und risikoreich (Huth und Romeike 2016). Insbesondere das unzureichende Wissen der Unternehmen über die eigenen Prozesse führt zu einer hohen Kapazitäts- und Kostenbelastung durch die zeitaufwändige Einbindung interner Experten und oftmals beauftragter WMS-Berater (Fraunhofer IML 2020). In diesem Zusammenhang gewinnen Modelle und Modellierungsmethoden zusätzlich an Bedeutung. Gerade in der Intralogistik mit ihren besonderen Anforderungen und Eigenschaften fehlt jedoch methodische Unterstützung, um das Prozesswissen für eine WMS-Einführung adäquat abbilden und zwischen den beteiligten Personen übertragen zu können (Rabe und Stadler 2022). Die Folgen können nicht nur eine geringe Akzeptanz bei den betroffenen Mitarbeitern sein, sondern Projektabbrüche und unternehmenskritische Produktionsstillstände (Groß und Pfenning 2017).

Das Ziel der Forschung ist eine Methodik, die die Modellierung intralogistischer Prozesse zur Einführung von WMS unterstützt. Erreicht wird das unter anderem durch eine Modellierungssprache zur Abbildung intralogistischer Prozesse entsprechend den Anforderungen bei der Einführung von WMS sowie prozessualen Methodenkomponenten, die die Generierung und den Transfer von Prozesswissen strukturieren und unterstützen.

Hierzu wird die *Modellierungssprache* auf die Abbildung der für die Einführung von WMS relevanten Merkmale der intralogistischen Prozesse ausgelegt. Intralogistische Flächen bilden beispielsweise die Basis der WMS-Lagerstruktur und geben dem Fachbereichspersonal Orientierung im Modell. Diese Prozesselemente nehmen daher einen übergeordneten Stellenwert in den intralogistischen Prozessmodellen ein und werden unter anderem als strukturierende Elemente der abgebildeten Prozesse eingesetzt.

Damit die Modelle trotz der Vielzahl an abzubildenden Ressourcen nicht überladen wirken, werden bei der Gestaltung der Notation gestaltpsychologische Prinzipien angewendet. Diese gewährleisten die zweckorientierte Wahrnehmung der Modelle und komplexitätsarme Gestaltung der Modellelemente mit Hilfe von Gestaltungsgesetzen. Das

Ziel ist, eine Sprache aufzubauen, die von den Unternehmensexperten akzeptiert, intuitiv angewendet und von den WMS-Experten verstanden werden kann.

Neben der Sprache sind *Prozessuale Komponenten* Kern der Methodik. Diese unterstützen die Prozesse zur Erarbeitung, Dokumentation und Weitergabe des Prozesswissens zwischen den beteiligten Personen. Hierfür beschreibt und strukturiert ein Vorgehensmodell die Entwicklung der WMS-orientierten Modelle auf übergeordneter Ebene. Zusätzlich werden spezifische Aktivitäten zur strukturierten Modellierung einzelner komplexer intralogistischer Prozesse festgelegt und konkrete Arbeitsschritte zum Aufbau der Modelle vorgegeben. Für eine konsistente Struktur der Komponenten sind die prozessbezogenen Vorgaben dabei auf die Merkmale der intralogistischen Modellierungssprache und die Charakteristika des WMS-Customizing-Prozesses abgestimmt.

Ergänzend zu den prozessualen und sprachlichen Komponenten als Kern der Modellierungsmethodik umfasst diese weitere Komponenten, die den Anwender bei der Durchführung der Modellierung unterstützen. Dazu zählt ein Modellierungswerkzeug, das die Erstellung der Modelle vereinfacht und bei deren Standardisierung unterstützt sowie modellbezogene Komponenten, wie eine Modellarchitektur und eine Prozessmodellhierarchie, die zum Verständnis der zu erstellenden Modelle beitragen.

Durch diese methodische Unterstützung können die Risiken und Kosten bei der Einführung von WMS reduziert und die Qualität der eingeführten WMS-Prozesse gesteigert werden. Demonstriert wird das durch eine summative Evaluation in einem betrieblichen Anwendungsfall.

Literaturverzeichnis

- Fraunhofer IML: WMS Marktreport Kompakt 2018. Trends und Entwicklungen auf dem Markt für Warehouse Management Systeme. 6 Auflage. Dortmund: Fraunhofer IML 2020.
- Groß, C.; Pfenning, R.: Professionelle Softwareauswahl und -einführung in der Logistik. Wiesbaden: Springer Gabler 2017.
- Huth, M.; Romeike, F.: Risikomanagement in der Logistik. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2016.
- Rabe, M.; Stadler, F.: Modeling of intralogistic processes for the implementation of Warehouse Management Systems. In: Pires, L. F.; Hammoudi, S.; Seidewitz, E. (Hrsg.): Proceedings of the 10th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD), Wien: Februar 2022, S. 271–278.

Integrierte Nachverfolgbarkeit – Einbindung in die Unternehmensarchitektur

Henrik Körsgen, dxk GmbH, Zürich
henrik.koersgen@tu-dortmund.de, koersgen@dxk.ch

Das Zusammenspiel organisationsübergreifender Lieferketten stößt immer wieder an Grenzen. Konflikte, Naturkatastrophen, Blockaden und logistische Engpässe erschweren die Einhaltung von Lieferterminen. Gleichzeitig wird durch eine erhöhte Automatisierung der Prozesse auch eine gestiegene Liefertermingenauigkeit erwartet. Durch die fortschreitende Digitalisierung sind Organisationen, die auf abgestimmte Lieferketten angewiesen sind, auf eine integrierte Nachverfolgbarkeit angewiesen. Hier soll ein neues Referenzmodell unterstützen. Zunächst ist erforderlich, dass Organisationen prüfen, inwieweit eine (vertiefte) Nachverfolgbarkeit von Waren deren Geschäftsprozesse verbessert. Weiterhin ist ein organisatorisches Umdenken für den Erfolg erforderlich (Earl 1994). Daraus ergeben sich die beiden Blöcke *Mitarbeiter* und *Prozesse* des Referenzmodells für die Integration der Nachverfolgbarkeit in die bestehende Unternehmensarchitektur. Voraussetzung für die Prozessgestaltung durch Mitarbeiter ist eine unterliegende *Organisation*. Margherita et al. (2020) haben festgestellt, dass integrierte digitale Technologien zur Verbesserung der Rückverfolgbarkeit von Materialien und Operationen an der Montagelinie durch ein Tracking-System realisiert werden können. Eine geeignete *Technologie* muss für die Gewährleistung der Nach- und Rückverfolgbarkeit bestimmt werden. He et al. (2009) sehen hierzu eine Kombination aus RFID und GPS als eine geeignete Lösung für integrierte Nachverfolgbarkeit in der Supply Chain. Sie heben hervor, dass Technologien so verwendet werden sollten, dass sowohl die innerbetriebliche Prozessverfolgung als auch die außerbetriebliche Positionierung möglich sind. Ein weiterer Block der digitalen Architektur sind *Daten*. Um deren Plausibilität im Bereich der Nachverfolgbarkeit zu gewährleisten, ist es sinnvoll, auf das Architekturreferenzmodell der Industrie (RAMI) 4.0 zurückzugreifen (Hankel 2015). Das Bindeglied zwischen der Gerätetechnik und der Generierung von Daten setzt eine solide Unternehmensarchitektur voraus. Diese kann mittels der Komponenten Datenbankserver, Anwendungsschnittstelle (API) und einer Webschnittstelle für das gesamte *Netzwerk* genutzt werden (Fahim et al. 2021). Mit der digitalen Architektur wird die Voraussetzung geschaffen, um mit Hilfe von Track&Trace-Software eine Nachverfolgbarkeit der Warenströme sicherzustellen. In dieser Forschung zur integrierten Nachverfolgbarkeit steht ein Referenzmodell, das die Lücke zwischen dem Status quo und der angestrebten Implementation schließen soll, im Mittelpunkt. Dabei ist es das Ziel, eine Vielzahl von Anforderungen und Randbedingungen zu berücksichtigen und gleichzeitig brauchbare Informationen über die zu ergreifenden Maßnahmen zu vermitteln

(Frank 2007). Winzer und Sitte (2001) haben gezeigt, dass die Erstellung eines Teilbedarfskatalogs einen unmittelbaren praktischen Nutzen hat. Mit diesem Katalog werden die wichtigen Anforderungen an die komplette Track&Trace-Lösung gebündelt und Schlussfolgerungen für die organisatorische und technische Umsetzung gezogen. Der Katalog orientiert sich dabei an den TOGAF-Geschäftsleistungsschichten (business service layer) und der ISA95-Integration von Unternehmenssteuerungssystemen (Josey 2018). Jeweils eine TOGAF-Schicht beinhaltet zwei ISA95-Schichten. Die insgesamt sechs verschiedenen ISA95-Schichten werden aus drei unterschiedlichen Perspektiven beurteilt: Ergebnis, Leistungsmetrik und Technische Herausforderung. In Bezug auf Track&Trace-Lösungen werden so in einer ersten Analyse 18 Punkte bewertet. Die Perspektiven werden gewichtet. Dabei basiert das Verfahren sowohl auf der Praxisempfehlung von Gartner® für eine bessere Visibilität in der Logistikkette (Titze 2016) als auch auf der Forschung mit dem Referenzmodell für Supply Chain Design und Konfiguration (Rabe et al. 2006). Eine solide Geschäftsprozessmodellierung ist sowohl für die Implementierung als auch für eine Anpassung der Track&Trace-Lösung von Vorteil. Sie erhöht die Plausibilität der integrierten Nachverfolgbarkeit und bietet der Organisation nachhaltigen Mehrwert.

Literaturverzeichnis

- Earl, M.: The new and the old of business process redesign. *The Journal of Strategic Information Systems* 3 (1994) 1, S. 5–22.
- Fahim, P. B.; An, R.; Rezaei, J.; Pang, Y.; Montreuil, B.; Tavasszy, L.: An information architecture to enable track-and-trace capability in Physical Internet ports. *Computers in Industry*, 129 (2021), Article 103443.
- Frank, U.: Evaluation of reference models. In: Fettke, P.; Loos, P. (Hrsg.): *Reference modelling for business systems analysis*. Hershey, London, Melbourne, Singapore: Idea Group Publishing 2007. S. 118–140.
- Hankel, M.: *The Reference Architectural Model Industry 4.0 (RAMI 4.0)*. Frankfurt: ZVEI Verband der Elektro- und Digitalindustrie 2015.
- He, W.; Tan, E. L.; Lee, E. W.; Li, T. Y.: A solution for integrated track and trace in supply chain based on RFID & GPS. In: *Proceedings of the 12th IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation*, Palma de Mallorca (Spain), 22.–25. September 2009.
- Josey, A.: *An introduction to the TOGAF Standard, version 9.2*. W182. Reading (UK): The Open Group 2018.
- Margherita, E. G.; Braccini, A. M.: Industry 4.0 technologies in flexible manufacturing for sustainable organizational value: Reflections from a multiple case study of Italian manufacturers. *Information Systems Frontiers* 2020, DOI 10.1007/s10796-020-10047-y.
- Rabe, M.; Jaekel, F. W.; Weinaug, H.: Reference models for supply chain design and configuration. In: Perrone, L. F.; Wieland, F. P.; Liu, J.; Lawson, B. G.; Nicol, D. M.; Fujimoto, R. M. (Hrsg.): *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, Piscataway, NJ: IEEE, S. 1143–1150.
- Titze, C.: *Debunking the myths of supply chain visibility*. Gartner 2016. <https://www.gartner.com/en/documents/3558518>.
- Winzer, P.; Sitte, J.: Demand recognition and specification: First step towards strategic enterprise management. *ATTCE Proceedings Vol. 3 Manufacturing*. SAE Technical Paper 2001-01-3364, 2001, DOI 10.4271/2001-01-3364.

Methode für die Echtzeit-Prognose von Produktionskennzahlen zur multikriteriellen Maschinenbelegungsplanung für eine flexible Fließfertigung in der Stahlindustrie

*Erwin Sirovnik, TU Dortmund
erwin.sirovnik@tu-dortmund.de*

Im Zuge der Globalisierung nimmt der Wettbewerbsdruck auf die europäische Stahlindustrie stetig zu und stellt sie vor vielfältige Herausforderungen. Die Digitalisierung nimmt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle ein und eröffnet neue Möglichkeiten. Sie bietet eine Vielzahl von Technologien, um die Produktionseffizienz durch Kosten- und Ressourceneinsparungen zu steigern, eine höhere Produktqualität zu erreichen, die Anlagenleistung zu maximieren und eine flexible Produktion zu planen (Branca et al. 2020). Dabei nehmen die Bestrebungen zur Erhöhung der Datenverfügbarkeit und -transparenz zu, wobei einer der größten Vorteile in der Produktionsplanung und -steuerung auf der Grundlage von Prozessdaten zu sehen ist (Schumpp et al. 2019).

Ein aussichtsreicher Beitrag zu diesen Anforderungen kann in einer flexiblen Fließfertigung durch eine fortschrittliche Maschinenbelegungsplanung geleistet werden, ohne dabei in kapitalintensive Anlagenkomponenten investieren zu müssen. Hierbei spielen stahlspezifische Produktionskennzahlen eine entscheidende Rolle, da sie eine ganzheitliche sowie transparente Bewertung der Güte von alternativen Maschinenbelegungsplänen ermöglichen. Mithilfe von Modellen, die etwa auf Technologien aus den Bereichen Data Mining und Maschinelles Lernen zurückgreifen, können ausgewählte Produktionskennzahlen unter Berücksichtigung aller relevanter Produktionsprozessdaten und betrachteter Belegungspläne in Echtzeit prognostiziert werden. Als Beispiel lässt sich dazu eine prädiktive Qualitätsbewertung nennen, die Potentiale zur Optimierung der Anlagenauslastung und der Gesamtanlageneffektivität (Overall Equipment Effectiveness, OEE) eröffnet (Frye et al. 2019). Durch eine Integration von echtzeitfähigen Prognose-Modellen in eine multikriterielle Optimierung im Rahmen einer Maschinenbelegungsplanung können Umplanungen entweder vermieden oder früher durchgeführt werden, um ein besseres Ergebnis zu erzielen.

Vor diesem Hintergrund soll mit der Entwicklung einer neuen Methode das planmäßige Vorgehen für die Umsetzung dieses Vorhabens in einer flexiblen Fließfertigung in der Stahlindustrie beschrieben werden. Diese Methode gliedert sich in die drei Elemente stahlspezifisches Produktionskennzahlensystem, Echtzeit-Prognose-Modelle und Maschinenbelegungsplanung.

Ausgehend von den analysierten Strategien der größten europäischen Stahlhersteller wurde ein Produktionskennzahlensystem auf Grundlage der Balanced Scorecard mit den Perspektiven Kunde, Qualität, Effizienz und Kosten sowie Energie und Umwelt erstellt. Innerhalb interdisziplinärer Arbeitsgruppen wurden bei einem Stahlhersteller bezugnehmend auf diese Perspektiven relevante Produktionskennzahlen für eine Maschinenbelegungsplanung bestimmt. Dieses Produktionskennzahlensystem lässt sich unter Berücksichtigung der individuellen Gegebenheiten der jeweils vorliegenden Produktion sowie Präferenzen konfigurieren.

Für die einzelnen Schritte des Aufbaus von Echtzeit-Prognose-Modellen im Hinblick auf identifizierte Produktionskennzahlen werden unterschiedliche Vorgehensmodelle untersucht. Dabei liefern Elemente der Musterextraktion in Supply Chains von Scheidler (2017) mit der integrierten Verifikation sowie Validierung und das Modell zur Knowledge Discovery in Industrial Databases (KDID) von Lieber et al. (2013) zur Wissensentdeckung in industriellen Datenbeständen eine vielversprechende Orientierung.

In einem vom Research Fund for Coal and Steel (RFCS) geförderten Projekt wurde für die Stahlindustrie ein Konzept für eine Maschinenbelegungsplanung mit drei Planungsebenen entwickelt, welches durch die Nutzung von Produktionsprozessdaten in Echtzeit optimierte Produktionspläne bis auf die Materialstückebene generiert (Iannino et al. 2021). Im dritten Methodenelement wird dargelegt, wie die prognostizierten Produktionskennzahlen in dieses Konzept eingebunden werden.

Literaturverzeichnis

- Branca, T. A.; Fornai, B.; Colla, V.; Murri, M. M.; Streppa, E.; Schröder, A. J.: The Challenge of digitalization in the steel sector. *Metals* 10 (2020) 2, S. 288.
- Frye, M.; Gyulai, D. J. B.; Schmitt, R.: Adaptive scheduling through machine learning-based process parameter prediction. 15th International Conference on High Speed Machining, Prag, 8.-9. Oktober 2019, S. 3060–3066.
- Iannino, V.; Colla, V.; Maddaloni, A.; Brandenburger, J.; Rajabi, A.; Wolff, A.; Ordieres, J.; Gutierrez, M.; Sirovnik, E.; Mueller, D.; Schirm, C.: Improving the flexibility of production scheduling in flat steel production through standard and ai-based approaches: Challenges and perspectives. In: Maglogiannis, I.; Macintyre, J.; Iliadis, L. (Hrsg.): *Artificial Intelligence Applications and Innovations*. Cham: Springer Nature, S. 619–632.
- Lieber, D.; Erohin, O.; Deuse, J.: Wissensentdeckung im industriellen Kontext. *ZWF* 108 (2013) 6, S. 388–393.
- Scheidler, A.: *Methode zur Erschließung von Wissen aus Datenmustern in Supply-Chain-Datenbanken*. Göttingen: Cuvillier 2017.
- Schumpp, F.; Birenbaum, C.; Schneider, M.: *Studie – Digitalisierung im Branchenfokus Stahl- und Metallhandel*. Stuttgart: Fraunhofer IPA 2019.

*Drei Dutzend Jahre Simulationstechnik
Markus Rabe & Anne Antonia Scheidler (Hrsg.)
Festkolloquium ITPL, Dortmund, 29./30. September 2022*

Gestaltungsmethodik für agile Produktionsnetzwerke auf Basis von Simulation und Machine Learning

*Willian Vent, TU Dortmund
Willian.Vent@tu-dortmund.de*

Die *Agilität* als Konzept existiert seit den 1950er-Jahren in der Systemtheorie von Organisationen. Dabei kann stellvertretend auf den amerikanischen Soziologen Talcott Parsons verwiesen werden, der vier Funktionen identifiziert hat, die jedes agile System erfüllen muss (Brock et al. 2012). In den letzten Jahrzehnten wird der Begriff von der agilen Softwareentwicklung geprägt und für unterschiedliche Disziplinen und Anwendungen adaptiert (Ays 2021). Seit den 90er-Jahren taucht das Konzept, erstmals im Kontext der Produktion, in veränderter Form unter anderem unter „agile Manufacturing“ wieder auf. Im Fokus stehen die schlanke Produktentwicklung, multifunktionale Teams und die ständige Optimierung der Produktionsabläufe (Gunasekaran 2001). Neben der schlanken Entwicklung wird der Begriff der Agilität auch als schlanke Produktion verstanden, welche die Veränderungs- und Vernetzungsfähigkeit eines produzierenden Unternehmens beschreibt (Klein 2016).

Gegenwärtig erfährt die Agilität im Kontext der Produktion eine Renaissance und wird von Unternehmen als vielversprechendes Forschungsfeld für die Produktion der Zukunft (Maier et al. 2020) und als die Antwort auf den schnellen und disruptiven Wandel gesehen (Ays 2021). Die Agilität im Kontext von Produktionsnetzwerken, beschreibt ein agiles System, welches strategisch, schnell und wirtschaftlich effizient sowohl erwartete als auch unerwartete Veränderungen in seinem Umfeld erkennen und auf diese bestmöglich reagieren kann (Ays 2021).

Eine *Herausforderung* bei der Gestaltung agiler Produktionsnetzwerke ist, dass Produktionsnetzwerke in der Regel historisch gewachsen sind und selten das Ergebnis einer langfristigen strategischen Planung darstellen (Sager 2018). Diese fehlende strategische Ausrichtung ist im Wesentlichen auf die Komplexität bei der Gestaltung von Netzwerkkonfigurationen zurückzuführen. Im Detail erschwert die Größe des Lösungsraums, die optimale Netzwerkkonfiguration zu identifizieren. Statt auf eine vollständige Durchdringung des Lösungsraums zurückzugreifen, bleibt die Gestaltung der menschlichen Präferenz überlassen. Hierbei ist nur bedingt nachvollziehbar, wie sich einzelne Anpassungen auswirken und welchen Beitrag mögliche Gestaltungsmaßnahmen leisten (Wiezorrek 2017). Als Ergebnis entstehen nur wenige Konfigurationen, auf die sich die Diskussion bei der Auswahl von Netzwerkkonfigurationen konzentriert. Die Defizite werden dabei im späteren Verlauf der Netzwerkkonfiguration ersichtlich. Netzwerkvarianten, die im fortgeschrittenen Verlauf bekannt werden, sind den im Vorfeld ausgewählten Konfigurationen überlegen (Sager 2018).

Diese fehlende Konvergenz führt unter anderem zu Verzögerungen, aus denen eine unzureichende Agilität des Produktionsnetzwerks resultiert.

Neue Möglichkeiten, um dieser Herausforderung entgegenzuwirken, können durch die anwachsende Verfügbarkeit von Anwendungen Künstlicher Intelligenz eröffnet werden. Es sind die Fortschritte auf dem Gebiet des Maschinellen Lernens (ML), die neue Potenziale für die Produktion aufzeigen. Insbesondere die Fähigkeit des selbstständigen Lernens mit ML birgt Potenzial in sich (Krüger et al. 2019). Durch selbstständig lernende Modelle können komplexe und von der menschlichen Präferenz unabhängige Strategien entwickelt werden (Seifert et al. 2018). Hierbei ist die Datenbasis für das Trainieren von Strategien mit ML-Modellen von großer Bedeutung. Die Daten werden in der Regel mithilfe von Testdurchläufen eines realen Prozesses generiert. Alternativ wird zunehmend auf die Datengenerierung mittels Simulation zurückgegriffen. Die Simulation kommt vor allem dann zu tragen, wenn keine Sensordaten vorliegen, der Integrationsaufwand von Sensoren zu groß ist oder die Daten nicht direkt am Prozess gewonnen werden können (Krüger et al. 2019).

Das *Ziel der Forschung* ist eine Methodik, die die Anwendung von Simulation und Machine Learning kombiniert, um die Gestaltung von agilen Produktionsnetzwerken vorzunehmen. Neben der Generierung einer synthetischen Datenbasis von Netzwerkvarianten durch die Simulation wird Machine Learning genutzt, um Gestaltungsstrategien für eine agile Netzwerkconfiguration zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- Ays, J.: Gestaltung agiler Produktionsnetzwerke. Forschungsbericht aus dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie. Dissertation, Aachen: Apprimus 2021.
- Brock, D.; Junge, M.; Krähnke, U.: Soziologische Theorien von Auguste Comte bis Talcott Parsons. München: Oldenbourg 2012.
- Gunasekaran, A.: Agile Manufacturing: The 21st century competitive strategy. Oxford: Elsevier Science 2001.
- Klein, T.: Agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau. Dissertation, TU München, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften. München: Herbert Utz 2016.
- Krüger, J.; Fleischer, J.; Franke, J.; Groche, P. (2019). KI in der Produktion. Künstliche Intelligenz erschließen für Unternehmen. Berlin: Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik 2019.
- Maier, G.; Eckhard, S.; Engels, G.: Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelt. Berlin: Springer 2020.
- Sager, B.: Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke. Dissertation, TU München, Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik. München: Herbert Utz 2018.
- Seifert, I.; Bürger, M.; Wangler, L.; Christmann-Budian, S.; Rohde, M.; Gabriel, P.; Zinke, G.: Potenziale der Künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland. Berlin: Institut für Innovation und Technik VDI/VDE 2018.
- Wiezorrek, A.: Beitrag zur Konfiguration von globalen Wertschöpfungsnetzwerken. Dissertation, TU Dortmund, Lehrstuhl für Unternehmenslogistik (LFO), 2017.

Methode für AutoML-basierte Lösung von Qualitätssicherungsaufgaben im Bereich diskreter Produktion

*Reza Jalali Sousanabady, TU Dortmund
reza.jalali@tu-dortmund.de*

Die produzierenden Unternehmen werden mit zunehmenden Herausforderungen konfrontiert, wie beispielsweise volatilen Marktsituationen, verkürzten Lieferzeiten, komplexen Produkten, steigenden Kundenforderungen und Kostendruck (Schuh et al. 2017). In diesem Kontext eröffnet der Einsatz von Machine Learning (ML) neue Potentiale in der Qualitätssicherung durch die Reduktion der Lieferverzögerungen und Nacharbeitskosten sowie Verbesserung der Ursachenanalyse bei Qualitätsproblemen (Usuga Cadavid et al. 2020). Die Verwendung von ML ist jedoch sehr stark von Spezialisten abhängig und ein Weg, um diesen Ressourcenbedarf zu reduzieren, ist die Anwendung von Automated Machine Learning (AutoML) (Krauß et al. 2020).

AutoML zielt darauf hin, dass der Anwender die Daten bereitstellt und das System automatisch die beste Vorgehensweise für den Anwendungsfall auswählt (Hutter et al. 2019). Dieses ganzheitliche Vorgehen wird nach Escalante et al. (2009) als Full Model Selection (FMS) bezeichnet, in welchem für einen vorgegebenen Datensatz die Vorverarbeitung, Merkmal- und Algorithmenauswahl sowie dessen Hyperparameterkonfiguration automatisch in Verbindung mit einer Fehlerminimierung stattfindet. Wenn im Vergleich zu FMS die Vorverarbeitung und Merkmalsauswahl vorausgesetzt werden, spricht man vom Combined Algorithm Selection and Hyperparameter Optimization (CASH) (Thornton et al. 2013). Hierbei liegt der Fokus auf der Lösungssuche durch eine für den Anwendungsfall geeignete Algorithmenauswahl zusammen mit der Hyperparameteroptimierung.

Krauß et al. (2020) weisen darauf hin, dass keines der existierenden AutoML-Systeme in der Lage ist, alle Schritte des ML-Prozesses, wie Datenvorverarbeitung, -integration, -modellierung und Deployment, umfassend bereitzustellen. Zudem gibt es gegenwärtig keine ausgereiften Lösungen für die Integration von domainspezifischen Informationen in den ML-Prozess und Interaktionsmöglichkeiten für den Anwender mit ML-Algorithmen fehlen ebenfalls (Krauß et al. 2020).

Ausgehend von diesem Handlungsbedarf wird vor einem praxisbezogenen Hintergrund die Entwicklung einer Methode für den Bereich Qualitätssicherung angestrebt. In diesem Zusammenhang erfolgen zuerst eine Katalogisierung der Domaininformationen und eine Zuordnung zu den identifizierten Anwendungsfällen. Im nächsten Schritt werden die abgeleiteten Domaininformationen mit den Anforderungen der ML-Algorithmen sowie den relevanten Daten abgeglichen. Daraus folgen Handlungsempfehlungen für die Auswahl und den Ausschluss von Datenuntermengen sowie

ML-Algorithmen. Ein weiteres Methodenelement besteht darin, den CASH-Prozess durch geeignete Interpretationstechniken für die Fachexperten zugänglicher zu gestalten. Dadurch können neu gewonnene Informationen und Kontextwissen als zusätzliche Eingangsinformation in die nächste Iteration vom CASH integriert werden. Abbildung 1 spiegelt den Ablauf der beschriebenen Methode wider.

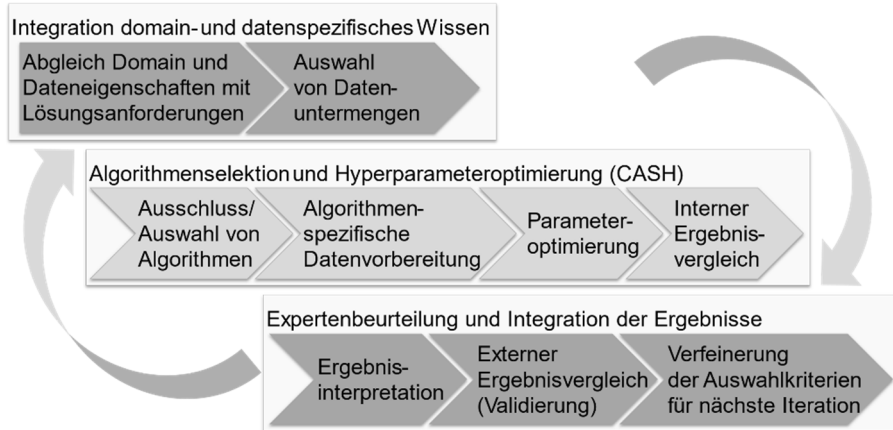


Abbildung 1: Methodenablauf für Integration von Domainwissen und Ergebnissen von Expertenbeurteilungen in den CASH-Prozess

Literaturverzeichnis

- Escalante, H.; Montes, M.; Sucar, E.: Particle swarm model selection. *Journal of Machine Learning Research* 10 (2009), S. 405–440.
- Hutter, F.; Kotthoff, L.; Vanschoren, J.: *Automated machine learning*, Cham: Springer International Publishing 2019.
- Krauß, J.; Pacheco, B. M.; Zang, H.M.; Schmitt, R.: Automated machine learning for predictive quality in production. *Procedia CIRP* 93 (2020), S. 443–448.
- Schuh, G.; Reuter, C.; Prote, J. P.; Brambring, F.; Ays, J.: Increasing data integrity for improving decision making in production planning and control. *CIRP Annals–Manufacturing, Technology*, 66 (2017) 1, S. 425–428.
- Thornton, C.; Hutter, F.; Hoos, H.; Leyton-Brown, K.: Auto-WEKA: Combined selection and hyperparameter optimization of classification algorithms. *The 19th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD’13)*, Chicago, 11.-14. August 2013, S. 847–855.
- Usuga Cadavid, J. P.; Lamouri, S.; Grabot, B.; Pellerin, R.; Fortin, A.: Machine learning applied in production planning and control: A state-of-the-art in the era of industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing* 31 (2020) 6, S. 1531–1558.

Mehrstufige Methode zur Wissensentdeckung in der Domäne der Produktion

*Florian Hochkamp, TU Dortmund
florian.hochkamp@tu-dortmund.de*

Digitalisierung ist im volatilen Konkurrenzumfeld produzierender Unternehmen unabdingbar, weswegen Schlagwörter wie Industrie 4.0 oder Big Data die letzten Jahre prägen. Entwicklungen in der Digitalisierung erzeugen Wissen über heterogene Produktionssituationen. Die Nutzung komplexer werdender Produktionssysteme erfordert einen internen und externen Informationsaustausch zur Nutzung spezifischen Wissens über die Produktion. Die ausgetauschten Informationen und das Wissen gründen sich auf Daten (North 2022). Diese Daten liegen in unterschiedlichen Strukturen und Formaten in Unternehmen als Realdaten vor und sind mit Datenqualitätsmängeln belastet (García et al. 2015). Aus großen Mengen von Daten können durch das Feld der Wissensentdeckung (KDD) Informationen und Wissen extrahiert werden (Fayyad et al. 1996). Der KDD-Prozess umfasst mindestens die Fragestellung, die Datenauswahl, die Datenvorverarbeitung, das Data Mining und die Nachbearbeitung des Data-Mining-Ergebnisses (Scheidler und Rabe 2021). Das Data Mining ist als der zentrale Schritt im KDD-Prozess zu werten. Zur Sicherstellung der Analysequalität ist die Datenvorverarbeitung des Data Mining essenziell und nimmt oft mehr als 60 % der Zeit der Wissensentdeckung ein (Munson 2012).

Die Forschungstätigkeiten umfassen die Entwicklung einer Methode zur Wissensentdeckung mit Fokus auf der Datenvorverarbeitung in produzierenden Unternehmen. Diese Methode ermöglicht Akteuren produzierender Unternehmen die Adressierung weiterführender Problemstellungen. Insbesondere fokussiert die Methode die Anwendung von Data-Mining-Verfahren innerhalb der Datenvorverarbeitung, zur Generierung von Wissen über den vorhandenen Datensatz auf Datenebene und zur Erhöhung der Analysequalität des KDD-Prozesses. Hierfür wird eine mehrstufige Methode zur Wissensentdeckung auf der Basis bestehender Methoden und Vorgehensmodelle entwickelt. Das Kernstück der Methode ist die teilbare Datenvorverarbeitung des mehrstufigen KDD-Prozesses, wodurch für Teilfragestellungen der Datenvorverarbeitung einzelne Wissensentdeckungsprozesse durchgeführt werden können. Hierbei sind jedoch Abhängigkeiten sowie Reihenfolgen von besonderem Interesse. In Abbildung 1 wird eine Übersicht der beschriebenen Methode gegeben.

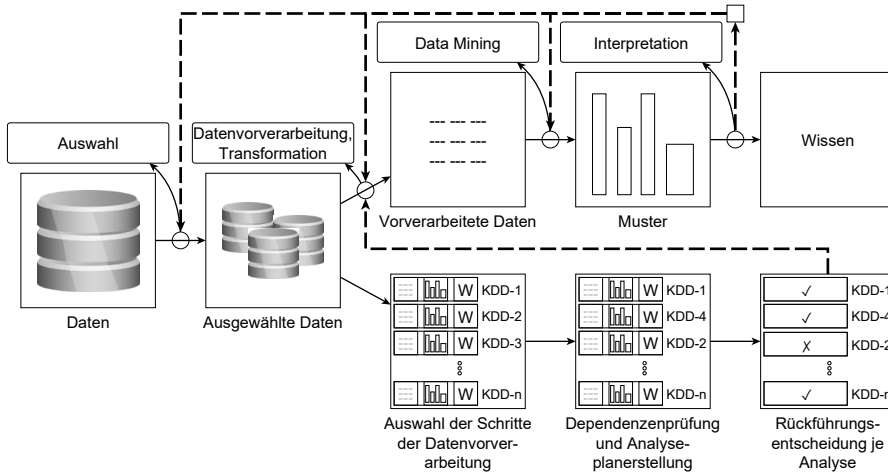


Abbildung 1: Entwickelte mehrstufige Wissensentdeckungsmethode

Auf Basis der Methode werden Fragestellungen aus produzierenden Unternehmen exemplarisch untersucht. Die Anwendbarkeit von Data Mining in der Datenvorverarbeitung in der Produktion wurde bereits im Kontext der Ausreißerinterpretation untersucht und validiert (Hochkamp und Rabe 2022). Zusammenfassend ist zu postulieren, dass die Methode Analysen domänenspezifischer Aufgabenstellungen verbessert und die Qualitätssicherung und -verbesserung von Produkten unterstützt.

Literaturverzeichnis

- Fayyad, U.; Piatetsky-Shapiro, G.; Smyth, P.: From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine* 17 (1996) 3, S. 37.
- García, S.; Luengo, J.; Herrera, F.: *Data Preprocessing in Data Mining*. Cham: Springer International 2015.
- Hochkamp, F.; Rabe, M.: Outlier detection in Data Mining: Exclusion of errors or loss of information? In: *Hamburg International Conference of Logistics*, Hamburg, 21.-23. September 2022, in Druck.
- Munson, M. A.: A study on the importance of and time spent on different modeling steps. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter* 13 (2012) 2, S. 65–71.
- North, K.: Die Wissensstreppe. In: North, K. (Hrsg.): *Wissensorientierte Unternehmensführung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2022, S. 33–69.
- Scheidler, A. A.; Rabe, M.: Integral verification and validation for knowledge discovery procedure models. *International Journal of Business Intelligence and Data Mining* 18 (2021) 1, S. 73–87.

Echtzeitfähige datengetriebene Prozesse in Produktion und Logistik

*Sean Paul Christiansen-Lenger, TU Dortmund
sean.christiansen@tu-dortmund.de*

Datengetriebene Prozesse können große Datenmengen meist echtzeitnah verarbeiten und ermöglichen so die Umsetzung von Konzepten wie Smart Manufacturing oder Digitaler Zwilling (Tao et al. 2018). Allerdings hat sich das Verständnis für datengetriebene (englische Data-driven) Prozesse in der Fachliteratur in den letzten Jahren stark verändert (Na und Peng 2021). Der Begriff wird teilweise sehr divergent oder abgewandelt, etwa als big-data-driven (Kamble und Gunasekaran 2020), verwendet. In diesem Beitrag werden zunächst die Merkmale datengetriebener Prozesse zusammengefasst dargestellt und anschließend die Relevanz einer echtzeitnahen Datenverarbeitung in datengetriebenen Prozessen diskutiert.

Nach Christiansen-Lenger und Rabe (2022) zeichnen sich datengetriebene Prozesse dadurch aus, dass sie zentral auf die Verarbeitung von Daten ausgerichtet sind, während der menschliche Einfluss, beispielsweise in Form von Expertenwissen, möglichst minimiert wird. Die zu analysierenden Daten können dabei direkt, etwa durch Sensoren oder Internet-der-Dinge-Prozesse, in einem Fertigungs- oder Logistikprozess aufgenommen werden. Auch können aktuelle oder historische Daten aus IT-Systemen übernommen werden. Um diese Daten gewinnbringend für ein produzierendes Unternehmen einsetzen zu können, muss Wissen aus den Daten extrahiert werden. Daraus leitet sich die primäre Aufgabe datengetriebener Prozesse ab: hypothesengetrieben aus Datenmengen unterschiedlicher Größe Wissen zu extrahieren, welches zum Lösen einer vorher eindeutig definierten Aufgabe verwendet wird. Die Wissensentdeckung kann dabei sowohl rein deskriptiv sein, also einem ungerichteten Entdecken von Wissen dienen, als auch prädiktiv sein, um zielgerichtet Wissen zu entdecken, sodass Strategien als Entscheidungsgrundlage abgeleitet werden können (Christiansen-Lenger und Rabe 2022).

Für den Begriff Echtzeit gibt es im aktuellen Stand der Literatur keine allgemein gültige Definition. Eine im Kontext von IT in Produktion und Logistik verbreitete unpräzise Definition beschreibt ein System als echtzeitfähig, wenn es die Fähigkeit hat „in einer gegebenen Betriebsumgebung alle anstehenden Aufgaben und Funktionen unter allen Betriebszuständen immer rechtzeitig und ohne Ausnahme erledigen zu können“ (Scholz 2005, S. 73). Datengetriebene Prozesse können diese Anforderung nach schneller Datenverarbeitung beispielsweise im Kontext Digitaler Zwilling erfüllen. Datengetriebene Prozesse verbinden das reale System mit einem korrespondierenden Simulationsmodell, das so durch Echtzeitdaten aktualisiert und angepasst wird und auch im operativen Geschäft eine Entscheidungsgrundlage bilden kann (Jeong et al.

2020). Beispielsweise zeigt die Veröffentlichung von Qiao et al. (2019) deutlich das Potential echtzeitfähiger datengetriebener Prozesse im Kontext Predictive Maintenance anhand eines Fräsprozesses. Weitere Anwendungsfelder sind beispielsweise ein Echtzeit-Prozess-Monitoring (Tao et al. 2018) oder die Entdeckung von dynamischen Bottlenecks in einer Fertigung durch Monitoring der Zykluszeit einzelner Maschinen (Roh et al. 2018).

Besonders im Bereich des Echtzeitmonitoring, mit dazugehöriger Bewertung des aktuellen Produktionsstatus durch datengetriebene Prozesse sowie diesbezüglicher Verifikation und Validierung, ist weitere Forschung geplant. Des Weiteren ist aufbauend auf den bereits abgeleiteten Merkmalen ein Definitionsvorschlag für datengetriebene Prozesse zu erarbeiten, der auch die aktuelle Entwicklung der Echtzeitfähigkeit datengetriebener Prozesse berücksichtigt. In diesem Kontext ist der Begriff Echtzeitfähigkeit weiter zu diskutieren, da ein IT-Prozess im Sinne der oben angeführten Definition nur abhängig von der Anwendung als echtzeitfähig klassifiziert werden kann und diese Unschärfe sich auch in der aufzustellenden Definition datengetriebener Prozesse fortsetzen könnte.

Literaturverzeichnis

- Christiansen-Lenger, S. P.; Rabe, M.: Literaturbasierte Untersuchung der Prozessmerkmale datengetriebener Prozesse im Anwendungsfeld der Produktion. In: Breitenacker, F.; Deatcu, C.; Durak, U.; Körner, A.; Pawletta, T. (Hrsg.): ASIM SST 2022 Proceedings Langbeiträge, Wien, 25.–27. Juli 2022, S. 9–14.
- Jeong, Y.; Singh, A.; Zafarzadeh, M.; Wiktorsson, M.; Baalsrud Hauge, J.: Data-driven manufacturing simulation: Towards a CPS-based approach. In: Säfsten, K.; Elgh, F. (Hrsg.): SPS2020: Proceedings of the Swedish Production Symposium, Jönköping, Sweden, 07.–8.10.2020, S. 587–596.
- Kamble, S.S.; Gunasekaran, A.: Big data-driven supply chain performance measurement system: A review and framework for implementation. *International Journal of Production Research* 58 (2020) 1, S. 65–86.
- Na, Y.; Peng, S.: A data-driven approach for identification and detection of intermittent faults. In: Liu, M.; Nogueiras Melendez, A.A.; Zhang, B.; Liu, X. (Hrsg.): 2021 4th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), Victoria, BC, Canada, 10.–12.05.2021, S. 455–460.
- Qiao, Q.; Wang, J.; Ye, L.; Gao, R.X.: Digital twin for machining tool condition prediction. *CIRP Procedia* 81 (2019), S. 1388–1393.
- Roh, P.; Kunz, A.; Netland, T.: Data-driven detection of moving bottlenecks in multi-variant production lines. *IFAC-PapersOnLine* 51 (2018) 11, S. 158–163.
- Scholz, P. (Hrsg.): *Softwareentwicklung eingebetteter Systeme: Grundlagen, Modellierung, Qualitätssicherung*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 2005.
- Tao, F.; Qi, Q.; Liu, A.; Kusiak, A.: Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems* 48 (2018), S. 157–169.

Referenzmodell zur Zuverlässigkeitsprognose von Heizsystemen basierend auf Test- und Felddaten

*Sahil-Jai Arora, Bosch Thermotechnik GmbH, Wernau
sahil-jai.arora@tu-dortmund.de*

Moderne Heizungsanlagen werden oft über einen langen Zeitraum – in der Regel bis zu 20 Jahre – kontinuierlich beansprucht (Hirschl et al. 2011). Sie bestehen aus einer Vielzahl von Teilsystemen und ihr Komplexitätsgrad nimmt durch fortschrittliche technische Innovationen zu (Becker 2004). Einzelne Komponenten und das Gesamtsystem werden im Labor unter standardisierten Prüfbedingungen getestet. Aufgrund der variablen Einsatzbedingungen kann die tatsächliche Lebensdauer im Feld nur bedingt abgeschätzt werden. Insbesondere die Überlagerung unterschiedlicher Schädigungsmechanismen und Belastungsprofile stellt eine Herausforderung dar.

Mit immer leistungsfähigerer Sensortechnik, Hochleistungskommunikationsnetzen und Datenverarbeitungsplattformen ist es möglich, Muster in Betriebsparametern zu erkennen. Auf Grundlage dieser Muster können Fehlfunktionen und deren Häufigkeit vorhergesagt und in die Lebensdauerprognose integriert werden. Damit können präzisere Lebensdauermodelle für eine Produktverbesserung entwickelt (Feldmann et al. 2017) und Ansätze zur zustandsorientierten Wartung entwickelt werden. Voraussetzung dafür ist die Erfassung umfangreicher Datenmengen, die ein hohes Potenzial für die Muster- und Wissensentdeckung mittels Data-Mining-Methoden bieten (Bauernhansl et al. 2014), das beispielsweise zur Erkennung von Anomalien genutzt werden kann (Agrawal und Agrawal 2015). Die Data-Mining-Technologie ermöglicht Durchbrüche bei der Fehlervorhersage und der proaktiven Instandhaltung (Chen et al. 2017). In der Praxis gibt es keine allgemeingültige Instandhaltungsstrategie, stattdessen muss diese anhand eines Strategiekatalogs gestaltet werden (Schenk 2010). Die herkömmliche Instandhaltungsstrategie von Heizungsanlagen in Wohngebäuden zur Erhöhung ihrer Zuverlässigkeit ist eine Mischung aus reaktiven und präventiven Instandhaltungsmaßnahmen. Es soll die Erweiterung der konventionellen Instandhaltungsstrategie um eine prädiktive zustandsorientierte Wartungsstrategie verfolgt werden, um eine Annäherung an das Kosten-Optimum in Bezug auf die Ausfallfolgekosten und die proaktiven Instandhaltungskosten zu erzielen.

Der Heizungssektor für Wohngebäude ist durch eine nicht direkte Beziehung zwischen Hersteller und privaten Endkunden gekennzeichnet. Der Verkauf der Heizungsanlagen, die Installation und die Wartung werden fast ausschließlich von Service- und Wartungsfirmen übernommen. Ein möglicher prädiktiver Instandhaltungsansatz kann auf Herstellerseite durch eine Auswertung von Felddaten zur prädiktiven Fehlererkennung zu optimierten Wartungs- und Servicekonzepten führen. Gleichzeitig können bestehende Lebensdauermodelle durch die Berücksichtigung von Massendaten zu

Anlagen- und Betriebsbedingungen optimiert werden. Vielversprechend ist der Abgleich von den im Labor generierten Testdaten mit den erhobenen Felddaten. Eine große Herausforderung im Heizungssektor ist die große Distanz zum Endkunden, die zu mangelnder Verfügbarkeit von Ausfall-, Status- und Meta-Daten führt.

Viele Industriezweige stehen vor der Herausforderung, ein Zuverlässigkeits-Prognosemodell zu entwickeln, weshalb eine Standardisierung der Modellentwicklung erforderlich ist (Müller et al. 2019). Ein Referenzmodell – eine ganzheitliche in einer Architektur strukturierte Sammlung von Methoden – soll die Wiederverwendung von vorhandenem Wissen und Praktiken in Form eines Entwurfsschemas ermöglichen. Nach Rabe und Scheidler (2021) fehlt es bestehenden Vorgehensmodellen zur Wissensdetektion in Datenbanken an Verifikation und Validierung. Somit haben Referenzmodelle das Potenzial, im Bereich der Zuverlässigkeitsprognose von Heizungsanlagen ähnliche Vorteile zu erzielen (Arora et al. 2022).

Literaturverzeichnis

- Agrawal, S.; Agrawal, J.: Survey on anomaly detection using data mining techniques. *Procedia Computer Science* 60 (2015), S. 708–713.
- Arora, S.-J.; Cecollini, C.; Rabe, M.: Approach to reference models for building performance simulation. In: Pires, L. F.; Hammoudi, S.; Seidewitz, E. (Hrsg.): *Proceedings of the 10th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development Virtual Conference*, 6.–8. Februar 2022, S. 271–278.
- Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B.: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg 2014, S. 5.
- Becker, R.: *Vernetzte Embedded Systems und Visualisierung mit Java*. Freiburg: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE 2004, S. 1.
- Chen, B.; Wan, J.; Shu, L.; Li, P.; Mukherjee M.; Yin, B.: Smart Factory of Industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges. *IEEE Access* 6 (2018), S. 6505–6519. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2783682.
- Feldmann, S.; Lässig, R.; Herweg, O.: Predictive Maintenance. Service der Zukunft – und wo er wirklich steht. In: *VDMA. Zusammenfassung Status Predictive Maintenance*. München: Roland Berger 2017, S. 3.
- Hirschl, B.; Aretz, A.; Dunkelberg, E.; Neumann, A.; Weiß, J.: Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin 2020 und langfristig – Quantifizierung und Maßnahmengenerierung zur Erreichung ambitionierter Ausbauziele. Wiesbaden: Schriftenreihe des IÖW 198 (2011) 11.
- Müller, M.; Reggelin, T.; Licht, M.: Referenzmodelle für die Simulation von logistischen Prozessen in Industriewäschereien. In: Putz, M.; Schlegel, A. (Hrsg.): *Simulation in Produktion und Logistik 2019*. Auerbach: Verlag Wissenschaftliche Skripten 2019, S. 531–540.
- Schenk, M.: *Instandhaltung technischer Systeme. Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs*. Berlin, Heidelberg: Springer 2010.
- Scheidler, A. A.; Rabe, M.: Integral verification and validation for knowledge discovery procedure models. *International Journal of Business Intelligence and Data Mining* 18 (2021) 1, S. 73–87.

Effiziente Modellierung von Materialflusssystemen in der Angebotsphase durch ein Referenzmodell basierend auf der Wertstrommethode

*Tobias Sohny, Hochschule Koblenz
tsohny@rz-online.de*

Automatisierte Materialflusssysteme der Produktion weisen nicht zuletzt durch eine hohe Dynamik eine erhebliche Komplexität auf. Anlagenplaner stehen der Herausforderung gegenüber, mit Abgabe ihres Angebots für solche kundenindividuellen Materialflusssysteme eine Durchsatzleistung zu garantieren (Overmeyer et al. 2008). Eine Überdimensionierung des Systems, zur Sicherung der Durchsatzleistung, geht allerdings durch Mehrkosten zu Lasten der Wettbewerbsfähigkeit.

Die Simulationstechnik erlaubt die Abbildung von dynamischen und stochastischen Aspekten eines Systems durch ablauffähige Modelle und dadurch eine Bewertung von Alternativen (VDI 2014). Die Simulation, wie sie üblicherweise in einer Anlagenplanung eingesetzt wird, ist allerdings in der Angebotsphase zu zeit- und kostenintensiv, sodass diese erst nach einer Auftragsvergabe zur Anwendung kommt. Potenzielle Planungsfehler werden erst dann erkannt und führen zu aufwandsintensiven Anpassungen.

In der Forschungsarbeit wurde ein *Referenzmodell (RM)* basierend auf der *Wertstrommethode (WSM)* entwickelt, das einen Beitrag für einen reduzierten Modellbildungsaufwand von Simulationsmodellen für automatisierte Materialflusssysteme in der Angebotsphase leistet (Rabe et al. 2021). Im Bereich der Simulation dienen Referenzmodelle als Konstruktionsschema für eine effiziente Modellierung aufgabenbezogener Simulationsmodelle (Klinger und Wenzel 2000). Für eine effiziente Modellierung besteht das Konstruktionsschema aus einzelnen Modellelementen mit definierter Struktur. Ein einzelnes Modellelement repräsentiert dabei ein reales Systemelement eines automatisierten Materialflusssystemes mit seinen charakteristischen Eigenschaften, abgebildet durch seine Attribute, Systemzustände und Ablauflogiken. Die Beschreibung der Systemelemente mit einer geeigneten Granularität für die Angebotsphase erfolgt mit der im industriellen Umfeld bewährten WSM, erweitert um Aktivitäts- und Zustandsdiagramme der UML 2 zur Abbildung der Dynamik (Abb. 1). Der modulare Aufbau des Konstruktionsschemas und der Beschreibungsmethode ermöglicht eine anwendungsspezifische Modellbildung und Parametrisierung. Unterstützung findet der Anwender durch ein Vorgehen für die effiziente Anwendung der Modellelemente bei einer strukturierten Systemanalyse und der formalen Modellbeschreibung.

Der Modellierer erhält bei Ausführung einer Modellierung nach dem RM ein formalisiertes Modell, das ohne weitere Erläuterungen simulatorspezifisch in ein Simula-

tionssystem implementiert werden kann. Der Anlagenplaner ist dadurch in der Lage, durch Was-wäre-wenn-Szenarien seine garantierte Durchsatzleistung in kürzester Zeit effizient abzusichern und hierdurch seine Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.

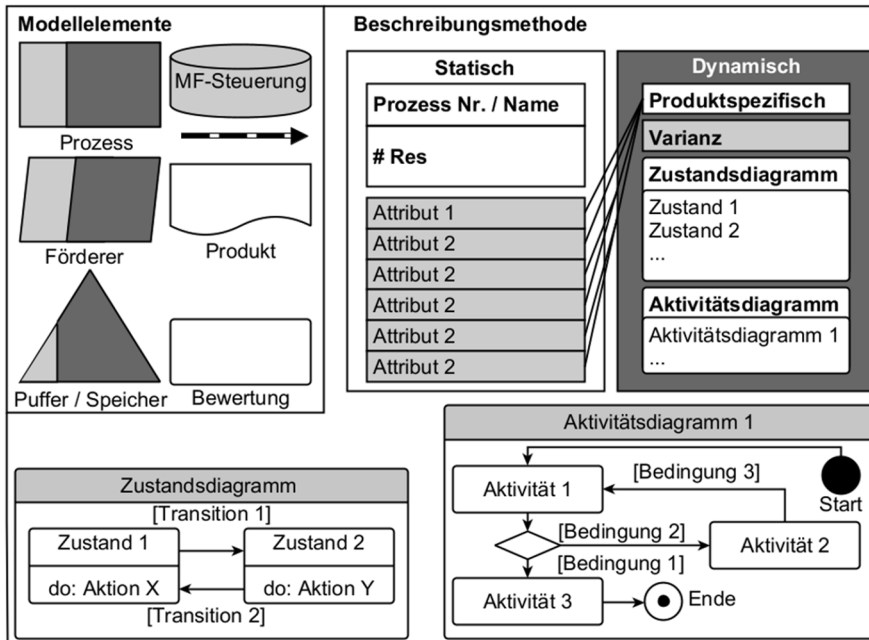


Abbildung 1: Konstruktionsschema des Referenzmodells basierend auf der WSM

Die Anwendbarkeit des RMs wurde in einer Simulationsstudie zur Abbildung eines realen Materialflusssystems nachgewiesen. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die vorgegebene Struktur und die definierten Modellelemente den Modellersteller bei der Systemanalyse und Formalisierung anwendungsspezifisch unterstützen und dadurch den Modellbildungsaufwand reduzieren. Die hinreichend genaue Abbildung und Glaubwürdigkeit wurde durch eine phasenbegleitende Verifikation und Validierung im Vergleich zu einem Detailmodell eines Materialflusssystems nachgewiesen.

Literaturverzeichnis

- Klinger, A.; Wenzel, S: Referenzmodelle – Begriffsbestimmung und Klassifizierung. In: Wenzel, S. (Hrsg.): Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. Erlangen: SCS 2000, S. 13–29.
- Overmeyer, L.; Dreyer, J.; Altmann, D.; Nickel, R.: Integrierte Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsbewertung: Von Produktionsanlagen in der Angebotsphase. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 103 (2008) 7–8, S. 505–510.
- Rabe, M.; Wincheringer, W.; Sohny, T.: Referenzmodell zur wertstrombasierten Simulation von Unstetigförderern in der Grobplanungsphase von Produktionssystemen. In: Franke, J.; Schuderer, P. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2021. Göttingen: Cuvillier Verlag 2021, S. 123–132.
- VDI Richtlinie 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen: Grundlagen. Berlin, Beuth, 2014.

Referenzmodell für die quantitative Absatzplanung innerhalb der Supply-Chain-Planung

*Daniel Büttner, TU Dortmund
daniel2.buettner@tu-dortmund.de*

Unternehmen der Konsumgüterindustrie produzieren ihre Produkte häufig auf Lager, um den entstehenden Endverbraucherbedarf möglichst schnell zu bedienen. Somit sind die Endverbraucherbedarfe zum Zeitpunkt der Produktion unbekannt. Aus diesem Grund existiert im Rahmen der Planung von Supply Chains eine Planungsfunktion, die Prognosen des zukünftigen Absatzes erstellt. Die Prognoseerstellung unter Verwendung der quantitativen Methoden stellt die Informationsbasis für die gesamte Supply-Chain-Planung (SCP) dar. Im Bereich der quantitativen Absatzplanung (AP) existieren Herausforderungen, die aus der steigenden Komplexität von Supply Chains, unklaren Planungsprozessen, der Vielfalt und der Komplexität von Prognosemethoden sowie der verwendeten Daten resultieren. Die Dissertation untersucht die folgende forschungsleitende Frage: Wie ist ein Referenzmodell zu gestalten, das die Absatzplanung und die Verwendung von Daten innerhalb quantitativer Prognosemethoden unterstützt?

Das Ziel des **Referenzmodells** für die quantitative Absatzplanung (RAP) innerhalb der SCP ist die Systematisierung des Prozesses, der Methoden und der Daten der AP. Das RAP dient als Leitfaden für die Verwendung der Unternehmensdaten zur Gestaltung der AP. Dabei unterstützt das RAP sowohl bei der erstmaligen Integration der AP als auch bei der Verbesserung.

Das Ergebnis ist ein umfangreiches Modell (Abb. 1), das aus drei Reifegraden besteht und einen Kontext zwischen dem Prozess, den Methoden und den Daten der AP herstellt. Im ersten Reifegrad wird die AP mit der Zielsetzung systematisiert, möglichst einfach realisierbar zu sein. Mit zunehmendem Reifegrad im RAP steigt die Komplexität der AP. Durch die Realisierung des zweiten und dritten Reifegrads werden mehr Daten in komplexeren Methoden verwendet und dabei weitere beeinflussende Faktoren des Absatzes bei der Prognoseerstellung berücksichtigt. Das Prozessmodul stellt eine strukturierte prozessuale Vorgehensweise in der AP dar. Das Methodenmodul bewertet und kategorisiert 24 quantitative Prognosemethoden anhand ihrer Komplexität. Das Datenmodul systematisiert die Prognosedaten in Informationsklassen, die anhand ihres Kontextes gruppiert sind. Weiterhin wird analysiert, welche Daten obligat und optional für die AP sind und in welchem Prozessschritt sie von Relevanz sind.

Das RAP ist das erste Referenzmodell, das den Prozess, die Methoden und die Daten der AP auf umfangreiche Weise systematisiert und somit eine Orientierung für die praktische Integration in Unternehmen bietet.

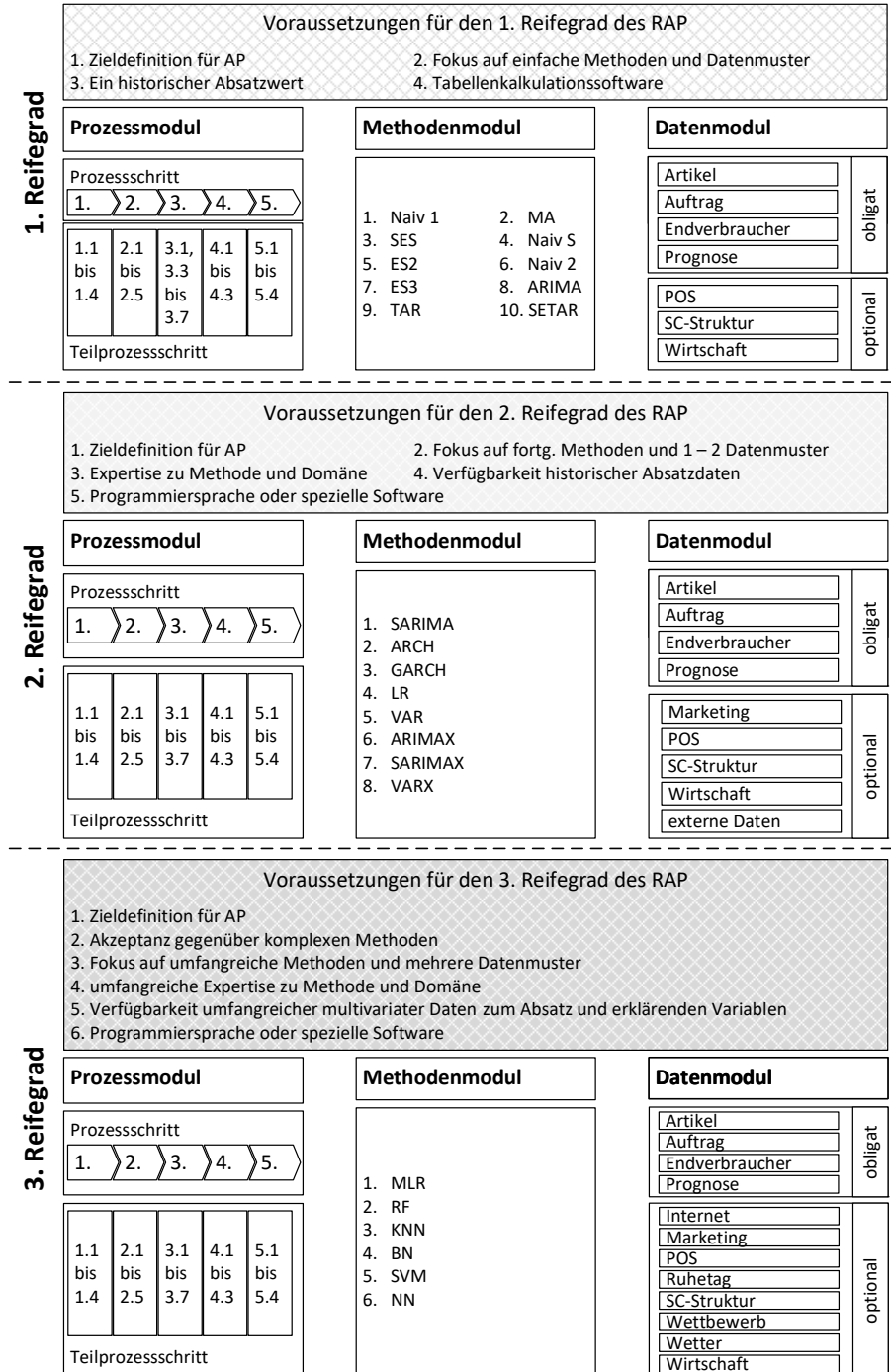


Abbildung 1: Das Referenzmodell für die quantitative Absatzplanung in der Supply-Chain-Planung

Das Fachgebiet IT in Produktion und Logistik erarbeitet informationstechnische Methoden zur Datenanalyse, Modellierung, Wissensentdeckung und Optimierung für Produktions- und Logistiksysteme mit einem besonderen Schwerpunkt auf der Simulationstechnik.

Das Fachgebiet ITPL wurde zum Oktober 2010 neu an der TU Dortmund gegründet. Damit ist genau ein dutzend Betriebsjahre erreicht, und der Leiter des Fachgebietes kann vor dieser Periode auf exakt zwei weitere dutzend Jahre beim Fraunhofer-Institut in Berlin zurückblicken. Neun Weggefährten haben zurück und vorausgedacht und sind für ein Festkolloquium in Dortmund zusammengelassen. Die Zusammenfassungen der Kolloquiumsvorträge bilden diesen vierten Band der ITPL-Fortschrittsberichte. Darüber hinaus haben die jungen Wissenschaftler, die am ITPL die Promotion anstreben und einen entsprechenden Forschungsstand aufweisen, ebenfalls ihr Vorhaben auf zwei Seiten für diesen Bericht zusammengefasst und auf dem Kolloquium in einem Science Slam präsentiert.

Fachlich decken die Vorträge einen weiten interdisziplinären Bereich ab, der seinen Fokus in der ereignisdiskreten Simulation findet und durch angrenzende Themen wie Visualisierung, Geschäftsprozessmanagement, Digitalisierung, maschinelles Lernen oder Referenzmodelle bereichert wird. Anwendungen adressieren beispielsweise Produktion und Produktions- sowie Absatzplanung; Transportsysteme, Supply Chains und Distribution; sowie datengetriebene Prozesse beispielsweise für Qualitätssicherungsaufgaben, Nachverfolgbarkeit und Zuverlässigkeitsprognosen.