32. Deutscher Materialfluss-Kongress 2025

Lernfabrik trifft auf Werksimulation – Implementierung von Just-in-Sequence in einer Lernumgebung mit Hilfe eines Digitalen Zwillings

Prof. Dr. Kerstin Herrmann

Prof. Dr. Kerstin Herrmann
Professorin für Technische Logistik

Technische Hochschule Mittelhessen –
University of Applied Sciences
Fachbereich Management & Kommunikation

Wilhelm-Leuschner-Straße 13
61169 Friedberg
kerstin.herrmann@muk.thm.de

Lernfabrik trifft auf Werksimulation – Implementierung von Just-in-Sequence in einer Lernumgebung mit Hilfe eines Digitalen Zwillings

Zahlreiche Planungsprobleme aus der Logistik sind aufgrund ihrer Komplexität für den Einsatz der Materialflusssimulation prädestiniert. Die Werksimulation als Teilbereich modelliert den Produkt- und Auftragsfluss durch die einzelnen Fertigungsstufen, z.B. in der Automobilindustrie. Weiterhin kann diese um Bauteilumfänge von Lieferanten ergänzt werden, mit dem Ziel einer durchgängigen Implementierung von Just-in-Sequence (JIS).

Die Lernfabrik der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) am Campus Friedberg bietet eine praxisnahe, interdisziplinäre Lernumgebung für Studierende, um Modellfahrzeuge in einer schlanken Supply Chain zu produzieren. Die Teilnehmer repräsentieren in einem Planspiel die Stufen der Produktion und Logistik sowie der Lieferanten.

Das im Rahmen einer Vorlesung für Master-Studierende entwickelte, innovative Lehrkonzept, kombiniert das Planspiel auf der Lernfabrik mit der Werksimulation als digitalem Zwilling. Studierende bilden die Produktions- und Logistikprozesse der Lernfabrik in einem digitalen Modell in Plant Simulation ab. Im Zuge einer Simulationsstudie werden Entscheidungsvariablen im Simulationsmodell variiert und die Auswirkungen auf eine reihenfolgegerechte Lieferung der Einbauteile analysiert. Eine anschließende Verknüpfung erfolgt durch die Übertragung von Parametern auf die Infrastruktur der Lernfabrik sowie einer zweiten Phase des Planspiels. Damit vertieft das Lehrkonzept das Verständnis der Studierenden für JIS sowie für einen digitalen Zwilling und zeigt vielversprechende Lernerfolge.

1 Einleitung

Das Modul „Gestaltung schlanker Wertschöpfungsnetzwerke“ für Studierende des Master-Studiengangs „Supply Chain Management“ an der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM), erweitert das Themenfeld Lean Logistics für Wertschöpfungsketten. Dabei werden Gestaltungsprinzipien des Lean Managements transferiert und angewendet, insbesondere mit Fokus auf die Implementierung von Just-in-Sequence (JIS). Vor dem Hintergrund individueller und personalisierter Produkte, kommt dieser Belieferungsstrategie eine hohe Bedeutung zu. So lassen sich mehrere tausend Varianten eines Zulieferteils, z.B. in der Endmontage eines Automobilherstellers nur wirtschaftlich handhaben, wenn die Einbauteile bereits vorsortiert in der richtigen Reihenfolge angeliefert werden.

JIS kombiniert den Just-in-Time (JIT) Ansatz mit der Sequenzierung von Varianten in Kundenreihenfolge. Hierfür wird ein Leitprodukt definiert, das wie eine einzelne Perle einer Perlenkette in der Fördertechnik einer getakteten Fließfertigung seine Position nicht verändern kann. Für die Automobilmontage repräsentiert das Leitprodukt z.B. die Karosserie. Damit kann der Bedarfszeitpunkt für ein spezifisches Einbauteil bei festgelegter Durchlaufzeit durch die Reihenfolge der Leitprodukte bestimmt werden (Koether, 2018). Die Perlenkette hat folglich eine Leitfunktion für die Auftrags-, Produktions- und Materialsteuerung.

2 THM Lernfabrik

Um die Implementierung von JIS bzw. der Methode Perlenkette zur Gestaltung eines schlanken Wertschöpfungsnetzwerkes zu erzielen, wird ein Planspiel zur Herstellung eines Geländewagens in der THM Lernfabrik durchgeführt. Eine Lernfabrik stellt eine an der Produktionsrealität orientierte Lernumgebung dar, die Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette erlebbar macht (Block et al., 2011). Durch ihre multidisziplinäre Ausrichtung können Lernfabriken das Verständnis und die Zusammenarbeit zwischen Mitarbeitern aus verschiedenen Funktionsbereichen wie Produktion, Logistik und Qualitätssicherung fördern (Micheu & Kleindienst, 2014).

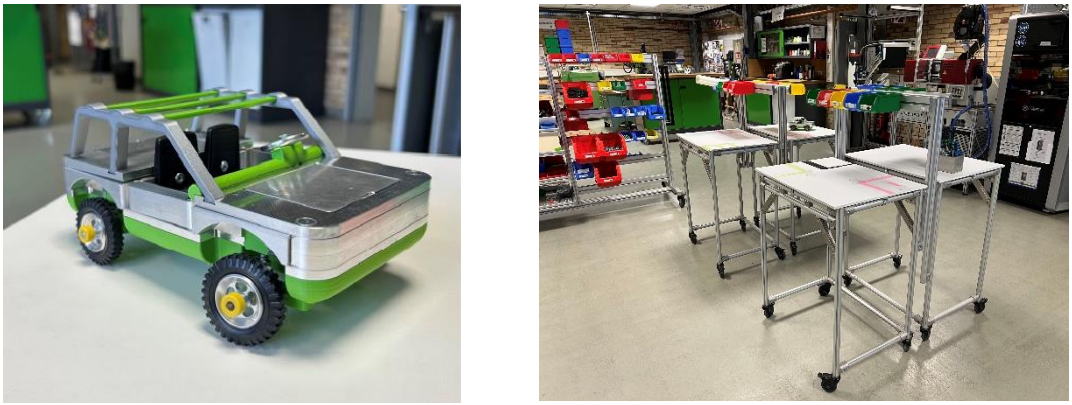

Bild 1: Geländewagen und Layout der THM Lernfabrik

In dem durchgeführten Planspiel nehmen die Teilnehmer die Rollen der Lieferanten, der Produktionsmitarbeiter für die Gewerke Rohbau, Oberfläche und Montage sowie der Logistikmitarbeiter ein. Die Wertschöpfungskette umfasst dabei die Produktion des Geländewagens gemäß der eingeplanten Auftragssequenz, beginnend mit der Sitzmontage bei den Lieferanten bis zur Auslieferung des Fahrzeugs an die Kunden.

In der ersten Phase des Planspiels lernen die Teilnehmer die Lernfabrik kennen und übernehmen im Rahmen einer ersten Simulationsrunde die angeführten Lernsituationsrollen. Im Anschluss wird mittels der Wertstromanalyse der Ist-Zustand aufgenommen und die Identifikation von Verschwendung strukturiert. Methodisch erfolgt eine Anlehnung an die logistikorientierte Wertstromanalyse nach Knössl (2013). Unter Berücksichtigung der Gestaltungsprinzipien Stabilisierung, Fluss, Takt, Pull und Schrittmacher, wird der Soll-Wertstrom entwickelt (Bertagnolli, 2020). Maßnahmen, wie Supermarkt-Pull-Systeme zur Umsetzung des Soll-Zustands, werden direkt in der Lernfabrik von den Teilnehmern implementiert. Bild 2 zeigt einen Supermarkt und ein Produktionskanban des JIS-Umfangs „Radaufhängung“.

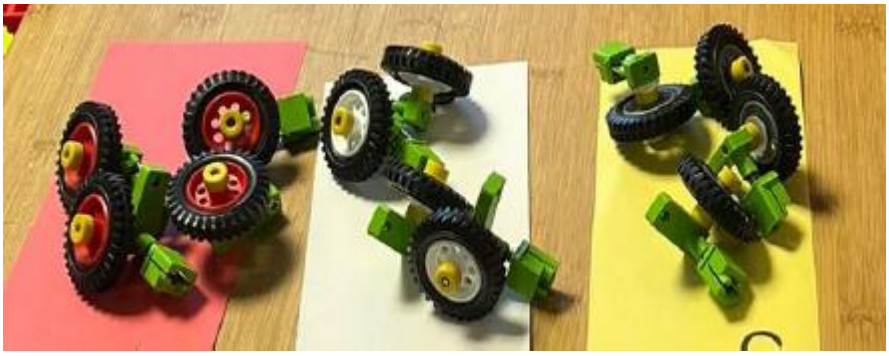

Bild 2: Supermarkt bei einem Lieferanten

Eine zweite Simulationsrunde veranschaulicht den Teilnehmern die Auswirkungen der Optimierungen, insbesondere in Bezug auf die Erfüllung von Just-in-Sequence in einer schlanken Wertschöpfungskette. Somit können die Teilnehmer das erlernte Wissen praktisch erproben, stabile und effiziente Prozesse gestalten sowie praxisrelevante Lösungen fundiert diskutieren.

3 Werksimulation & Digitaler Zwilling

Die Werksimulation in der Automobilindustrie umfasst die Modellierung des Produkt- und Auftragsflusses durch die nachfolgenden, einzelnen Fertigungsstufen (Eley, 2012):

- Presswerk
- Rohbau
- Oberfläche
- Endmontage

Zusätzlich kann diese um die JIS-Umfänge von den Lieferanten ergänzt werden. Das Ziel der Werksimulation besteht in der Abbildung der gewerkeübergreifenden

Wertschöpfungskette, um die Verfügbarkeit aller auftragseinsteuerrelevanten Einbauteile für die Montage zu prüfen, Stellhebel für die Perlenkette zu analysieren und die Implementierung von JIS zu gewährleisten.

In der nächsten Phase des Master-Seminars bilden die Teilnehmer die Wertschöpfungskette der THM Lernfabrik in einem Werksimulationsmodell in Plant Simulation ab. Das digitale Abbild umfasst die Gewerke Rohbau, Oberfläche und Montage. Weiterhin werden das Karosserie-Hochregallager, der sog. Sortierer, sowie die Fahrzeugeinplanungen für die Erzeugung der Perlenkette integriert (vgl. Bild 3). Um das Gewerkeverhalten authentisch zu modellieren und der Komplexität der Fahrzeugeinplanung gerecht zu werden, wurden Simulationsbausteine als Netzwerke entwickelt, welche von den Teilnehmern im Simulationsmodell zu parametrisieren sind.

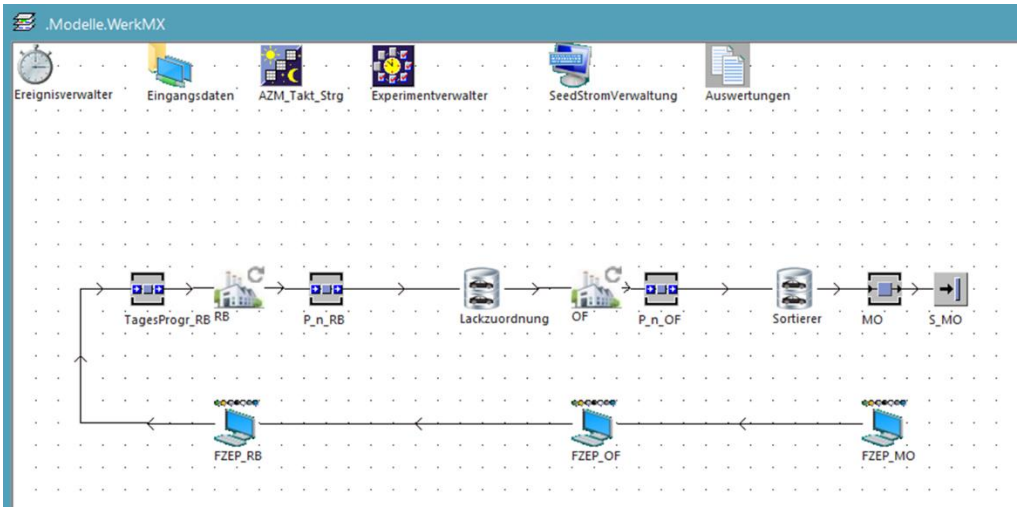

Bild 3: Werksimulationsmodell

Auf die Karosserieverfügbarkeit vor der Montage, wirken die Stellhebel Gewerkeverwirbelung, Karosserievarianz und Montagerestriktionen. Den Teilnehmern werden Prozess- und Produktdaten der Lernfabrik zur Verfügung gestellt, welche als Eingangsdaten aufbereitet und in das Simulationsmodell importiert werden. Auch die Verifikation und Validierung des Simulationsmodells ist von zentraler Bedeutung. Zum einen wird dadurch sichergestellt, dass das Modell die reale Wertschöpfungskette abbildet (Herrmann et al., 2021). Zum anderen wird geprüft, ob das zu untersuchende Verhalten des realen Systems im Simulationsmodell mit hinreichender Genauigkeit approximiert wird (Arnold & Furmans, 2019).

Auf Basis der Ein- und Ausgabewerte wird ein Experimentplan entwickelt, welcher die Variation der Entscheidungsvariablen systematisiert. So resultieren unterschiedliche Szenarien durch die Veränderung der Verbauquoten für die Karosserievarianten, der Häufigkeitsverteilung der Verwirbelung in den Gewerken sowie die Integration von Abstands- und Dichteregeln in der Montage. In allen Simulationsszenarien werden die Anzahl der Stellplätze im Sortierer als zentrale Entscheidungsvariable verändert und die Auswirkungen auf die Perlenkette analysiert. Bild 4 visualisiert die beispielhaften Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse.

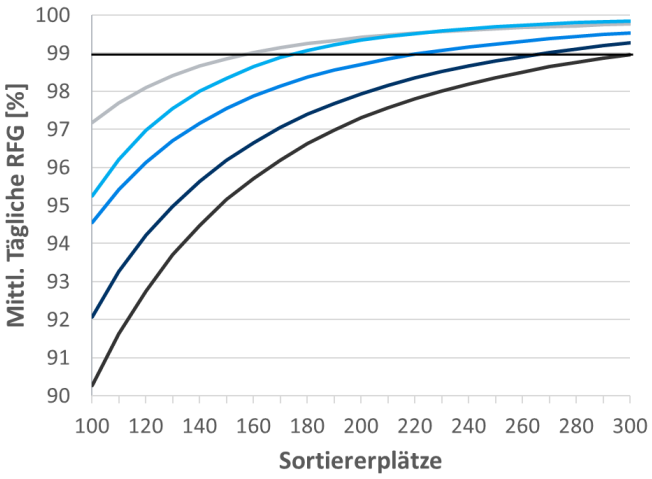

Bild 4: Reihenfolgegüte (RFG) in Abhängigkeit der Sortiererplätze

Die Simulationsstudie vertieft somit das Verständnis der Teilnehmer für die Prozess- und Produkteinflüsse auf die Perlenkette sowie für die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bei der Implementierung von Just-in-Sequence.

Das innovative Lehrmodul wird abschließend durch das Konzept des Digitalen Zwillings komplettiert. Dieses steht für die Möglichkeit, Produkte sowie Maschinen und ihre Komponenten mit Hilfe Digitaler Werkzeuge zu modellieren. „Ein Digitaler Zwilling ist das Abbild des physischen Assets in der realen Fabrik und erlaubt dessen Simulation, Steuerung und Verbesserung.“ (Fraunhofer IOSB, o.D.). Ein Digitaler Zwilling besteht aus einem realen Objekt, seinem digitalen Modell und einer Verknüpfung zwischen diesen beiden Welten (Matysczok, 2023). Das reale Objekt entspricht der THM Lernfabrik, welche im Zuge der Werksimulation zu einem digitalen Modell überführt wurde. Das Werksimulationsmodell als Digitaler Zwilling bildet folglich die physische Wertschöpfungskette der Lernfabrik in einem digitalen Modell ab. Auf Basis des Simulationsmodells werden Szenarien zu möglichen Optimierungen durchgespielt. Die Erkentnisse, welche anhand der Simulationsstudie gewonnen werden, können konventionell auf das reale System übertragen werden. Eine Verknüpfung erfolgt jedoch durch die Übertragung von Parametern auf die Infrastruktur der THM Lernfabrik, z.B. hinsichtlich der Montagerestriktionen. In einer zweiten Phase des Planspiels werden somit weitere Optimierungen erlebbar und die Implementierung von JIS mit Hilfe eines Digitalen Zwillings ermöglicht. Weiterhin können empirische Daten erfasst werden, welche widerum an das digitale Modell übertragen werden. Damit entspricht das digitale Modell nicht einer statischen Abbildung, sondern kann kontinuierlich der realen Wertschöpfungskette in der Lernfabrik angepasst werden.

Der Digitale Zwilling erweitert das Themengebiet „Modellierung und Simulation“, u.a. durch die Kombination von Daten, die im Betrieb entstehen (VDI/VDE, 2020). Dieser Aspekt wird im Rahmen des Master-Moduls berücksichtigt. Anzumerken ist jedoch, dass die Verknüpfung zw. dem realen Objekt und seinem digitalen Modell nicht automatisiert erfolgt. So könnten z.B. Sensoren in der Lernfabrik angebracht werden, um die Verwirbelung in den Gewerken zu erfassen. Weiterhin könnte eine zentrale Plattform die Produkt- und Prozessdaten sammeln, zentral zur Verfügung stellen und visualisieren. Im Kontext der

Lernumgebung werden jedoch andererseits kleine Datenmengen generiert, so dass eine Automatisierung dieser Komponenten kritisch zu hinterfragen ist.

4 Zusammenfassung

Die Qualifizierung zukünftiger Fach- und Führungskräfte für das Supply Chain Management in den Themengebieten Lean Management und Materialflusssimulation wird durch das Modul „Gestaltung schlanker Wertschöpfungsnetzwerke“ an der THM angestrebt. Die Teilnehmer vertiefen Ihre Fachkompetenzen zu Lean Logistics für das Supply Chain Management und gestalten dabei selbst in einer Lernumgebung ein schlankes Wertschöpfungsnetzwerk unter Verwendung der logistikorientierten Wertstromanalyse. Die THM Lernfabrik ermöglicht das Erleben der Prozesse entlang der Wertschöpfungskette und veranschaulicht die Auswirkungen der Optimierungen. Weiterhin wird im Rahmen des Moduls eine Werksimulation für die Implementierung von Just-in-Sequence über mehrere Stufen einer Wertschöpfungskette integriert. Das Werksimulationsmodell als Digitaler Zwilling bildet die Wertschöpfungskette der Lernfabrik in einem digitalen Modell ab. Die Teilnehmer führen die Simulationsstudie als Instrument zur Entscheidungsunterstützung aus und sind in der Lage, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bei der Implementierung von Just-in-Sequence fundiert zu erschließen. Eine abschließende Verknüpfung der Werksimulation mit der Lernfabrik im Rahmen des innovativen Lehrmoduls, vertieft das Verständnis der Teilnehmer für einen Digitalen Zwilling und zeigt vielversprechende Lernerfolge.

Literaturverzeichnis

Arnold, D.; Furmans, K. (2019): Materialfluss in Logistiksystemen. 7. Auflage, Springer Vieweg, Berlin

Bertagnolli, F. (2020): Lean Management – Einführung und Vertiefung in die japanische Management-Philosophie. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden

Block, M.; Bertagnolli, F.; Herrmann, K. (2011): Lernplattform - Eine neue Dimension des Lernens von schlanken Abläufen. PRODUCTIVITY Management, 16(4), S. 52-55

Eley, M. (2012): Simulation in der Logistik – Eine Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges „Plant Simulation“. Springer Gabler, Berlin Heidelberg

Fraunhofer IOSB (o.D.): Digitale Zwillingssysteme – das Schlüsselkonzept für Industrie 4.0. Verfügbar unter: https://www.iosb.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/automatisierung-digitalisierung/anwendungsfelder/digitaler-zwilling.html [abgerufen am 07.02.2025]

Herrmann, K., Risse, S., Weller, T. (2021): Simulation-based evaluation of model sensitivities in finished vehicle logistics. Proceedings of 2021 Annual Modeling and Simulation Conference (ANNSIM). Verfügbar unter: https://doi.org/10.23919/ANNSIM52504.2021.9552093

Knössl, T. (2013): Logistikorientierte Wertstromanalyse. In: Günthner, W. A.; Boppert. J. (Hrsg.): Lean Logistics – Methodisches Vorgehen und praktische Anwendung in der Automobilindustrie. Springer Vieweg, Berlin

Koether, R. (2018): Distributionslogistik – Effiziente Absicherung der Lieferfähigkeit. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden

Matysczok, C.; UNITY AG, Büren Germany (2023): Digital Twin – Einsatzbereiche des Digitalen Zwillings im Bereich Produktion und Logistik. 20. ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik 2023, S. 113-123

Micheu, H. & Kleindienst, M. (2014): Lernfabrik zur praxisorientierten Wissensvermittlung. ZWF, 109(6), S. 403–407. Verfügbar unter: https://doi.org/10.3139/104.111160

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) (2020): Simulation und digitaler Zwilling im Anlagenlebenszyklus. VDI-Statusreport