

Industrie 5.0 Lernumgebung am Beispiel der Wildauer Smart Production

Norman Günther¹, Bastian Prell¹, Ron van de Sand¹, Jörg Reiff-Stephan¹

Zusammenfassung

Die Industrie 5.0 fordert neue Lernansätze und zeitgleich auch passende Lernumgebungen. Parallel müssen diese neben den didaktischen Herausforderungen auch den Transfer- und Übertragungsgedanken auf die industriellen Anwendungen gerecht werden. Durch die täglich steigende Anzahl vielfältiger KI-Tools insbesondere textgenerierenden Tools, braucht es Systeme mit einem breiten Anwendungsbereich. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags geben die Autoren einen Einblick in die Wildauer Smart Production, welche den transdisziplinären Gedanken von Lern- und Transferumgebungen Rechnung trägt, Möglichkeiten der Gestaltung komplexer Produktionssysteme widerspiegelt, die Integration menschenzentrierter Ansätze ermöglicht und als Forschungsumgebung eingesetzt wird.

Stichwörter

Industrie 5.0, Lernumgebung, Smart Production, Smart Factory, Künstliche Intelligenz

1 Einleitung

Eine praxisnahe Darstellung von KI-basierten Applikationen in einem modernen Produktionsumfeld für die Aus- und Weiterbildung der Fachkräfte von morgen, benötigt auch die passende Testumgebung. Im Fokus des Aufbaus der Wildauer Smart Production steht eine Lehr- und Forschungsanlage, die zur Vermittlung und Entwicklung von KI-Anwendungen in einer komplexen Produktionsumgebung auf konzeptioneller Basis eines kleinen mittelständischen Produktionsunternehmens aufbaut. [1] Im Gegensatz zu anderen didaktischen Smart Factory Anlagen sollen in einer hochautomatisierten Testumgebung der Produktionsablauf mit Schüttgütern inkl. verschiedenen Temperaturbehandlungen, einer Echtzeit-Rückverfolgbarkeit und fahrerloser Transportsysteme veranschaulicht werden. Hierdurch entsteht eine Inhouse-Wertschöpfungskette vom Wareneingang bis zum verpackten und versandfertigen Produkt. Mit der Anlage können insbesondere produktionsnahe KI-Anwendungen, Mensch-Maschinen-Interaktionen sowie Robotikszszenarien adressiert werden und somit ein breites Spektrum für die Entwicklung und Erprobung vielfältiger KI-Ansätze bereitstellt. [2] Wobei sich der Mensch zwischen den Anlagenbereichen ungehindert bewegen und mit dem System interagieren kann. [3], [4] Dies ermöglicht frei im Raum positionierbare Bearbeitungsstationen, ähnlich wie in einem kleinen mittelständischen Produktionsunternehmen, mit alleinstehenden Maschinen.

Am Beispiel des durchgehenden Wertschöpfungsprozesses werden somit Entwicklung als auch die Anwendung von KI-Systemen anhand der Schwerpunkte autonomes Fahren, Bildverarbeitung, Prozessoptimierung sowie Mensch-Maschine-Interaktion anfassbar, erfahrbar und probierbar gestaltet. Schwerpunkt der Wildauer Smart Production ist es zudem, eine Forschungsplattform aufzubereiten, in der Trendthemen wie Matrixproduktion, Energiemanagement, KI und Big Data, aber auch campusübergreifende Themen, wie bspw. Manufacturing-X abgebildet werden können. Neben den Primäraktivitäten entlang des Wertestroms, wie Ausgangslogistik, Operative Produktion, Marketing

oder Vertrieb, soll die Umgebung langfristig auch Möglichkeiten für zusätzliche KI-Anwendungsfälle im Bereich der Sekundäraktivitäten schaffen, wobei vor allem die Bereiche Infrastruktur, Human Resources und Technologieentwicklung beispielhaft zu nennen wären.

Industrielle Standards wie Steuerungen mit OPC-UA-Schnittstellen bilden den Grundstein für die Produktion von morgen. Um die benötigte Matrixproduktion von kleinen mittelständischen Unternehmen abbilden zu können, müssen Taktungen mit Hilfe von Bandsystemen aufgehoben werden, womit flexibel auf Änderungen und Individualisierungen des Produktionsprozesses reagiert werden kann. Hierdurch bleibt jede Bearbeitungsstation für sich funktionsfähig und ist mit einer eigenen SPS und Bedienoberfläche bspw. von Siemens, Beckhoff, B&R oder Festo versehen. Wobei die Wildauer Smart Production an ein service-orientiertes MES-System angebunden ist, um eine individualisierte Produktion ohne Eingriff auf der Steuerungsebene zu ermöglichen.

Ein weiteres wichtiges Thema für die Didaktik aber auch für die Anwendungs- und Weiterentwicklung von KI im Industrie 5.0 Kontext, ist die Integration eines breiten Sensorspektrums, welche aussagekräftige Werte in der Produktion erzeugen und an übergeordnete Systeme weitergegeben können. [4] Im Sinne des didaktischen Einstiegs und des Transfergedankens sind zudem leicht verständliche und anschauliche KI-Anwendungen in der Wildauer Smart Production (WSP) implementiert.

2 Einbettung in die Lehre

Die Lehre muss heute immer dynamischer und abwechslungsreicher gestaltet werden. Ob im Wissens- und Technologietransfer für KMU's bspw. durch das BMWK geförderte Mittelstand-Digital Zentrum Spreeland, dem regionalansässigen Zukunftszentrum Brandenburg des BMAS, auf rein europäischer Ebene durch das European Digital Innovation Hub (EDIH) pro_digital aber auch in der Lehre kann auf eine praxisnahe Transfer-, Lehr- und Lernumgebung nicht mehr verzichtet werden. [5] Im Fachbereich der Automatisierungstechnik der TH Wildau wurde gemeinsam mit der Forschungsgruppe iC3@Smart Production ein Lehr und Lernkonzept vom niederschweligen bis hin zu komplexen Produktionssystemen entsprechend der Abbildung 1 geschaffen.

Die WSP-Testumgebung ermöglicht dabei den zukünftigen Herausforderungen der Industrie 5.0 zu begegnen. Didaktische Ansätze aus den Bereichen der Education 1.0 bis Education 5.0 werden im Rahmen des Lernkonzeptes möglich, wobei die Herausforderungen der Education 5.0 [6] für die aktuelle Hochschullandschaft vorerst noch eine Vision darstellt. Die vier anderen Stufen sowie die kontextabhängige Wissensvertiefung am Beispiel der Wissenstreppe können bereits mit dem Konzept abgebildet werden. [7] Eine stetige Anpassung der Lehrinhalte und bspw. die Integration von problembasierten Ansätzen, studierendenorientierte Lernzyklen über Online-Lernplattformen aber auch die hybriden Technologien ermöglichen bereits jetzt ein breit aufgestelltes und zielorientiertes Lernspektrum um die Future Skills von morgen [8] aber auch studiengangübergreifende Wissensvermittlungen [9] zu ermöglichen. Die Wildauer Smart Production Testumgebung ermöglicht zudem die Integration des Menschen als Entität. So ist es möglich, in das Studienmodell sowohl den Bereich der Montage, der Maschinenbedienung aber auch langfristig den Menschen als regelbasiertes System zu integrieren. Ansätze wie die Technostressreduzierung mittels EEG, EDA oder EKG lassen sich im Zuge der Produktionsstrecke integrieren und umsetzen. [10]

Abschließendes Ziel ist die Vertiefung und der erfahrungsübergreifende Studiengangsaufbau entsprechend des Qualifizierungsgrades. Entsprechend der Qualifizierung wird zu Beginn mit der Programmierung und Visualisierung kleiner Einzelstationen gestartet. Danach geht es in die Vernetzung von Produktionsstrecken und Steuerungen bis es am Ende in die komplexe Wildauer Smart Production geht. Durch den derzeitigen Einsatz von drei Knickarmrobotern (Universal Robotics UR 3 und 5), einem Deltaroboter (B&R) sowie sechs fahrerlosen Transportsystemen (Festo Robotino) können in

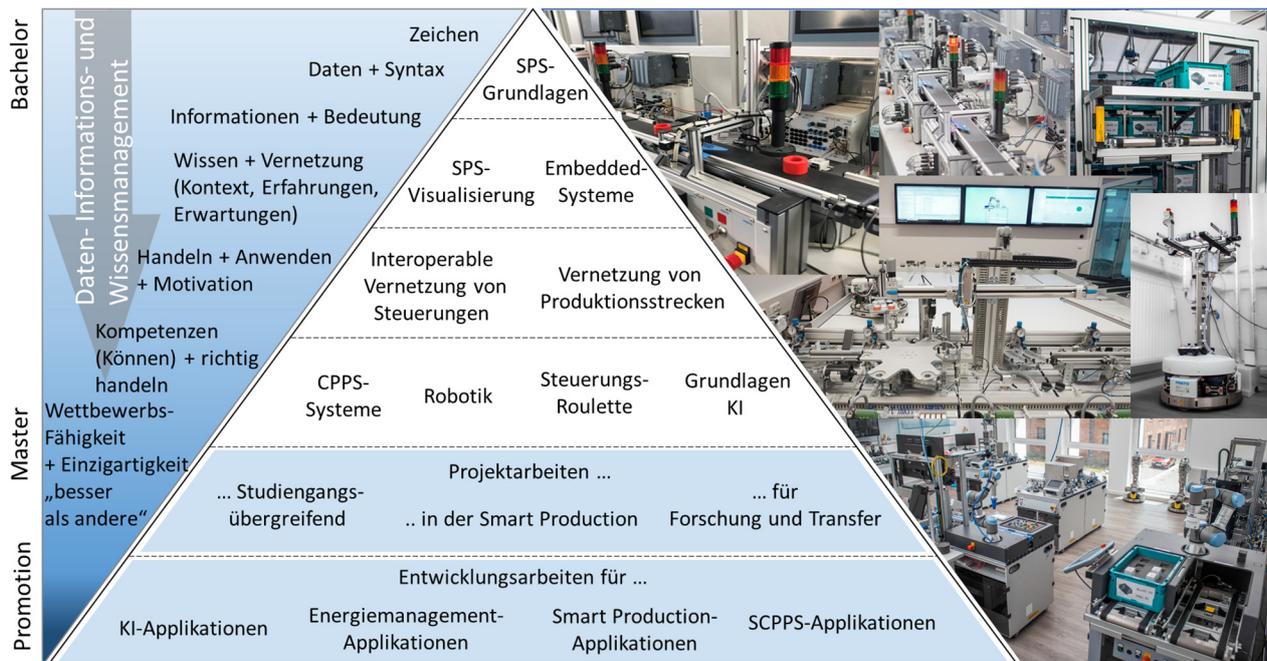


Abbildung 1: Digitalisierungshierarchie der Lehr- und Lernansätze entlang der wissenschaftlichen Ausbildung in Abstimmung mit der Wissenstreppe durch einen stetigen Wissensaufbau

der Wildauer Smart Production nicht nur die Vorteile einzelner Systeme präsentiert als vielmehr auch die Herausforderungen im Praxisalltag innerhalb von komplexen Produktionssystemen aufgezeigt werden. Entlang der Studiengänge, können Handhabungsansätze, Bedieninterfaces, Schnittstellen aber auch verschiedenste Transport und Automatisierungslösungen besprochen und diskutiert werden. Im Rahmen des Studiums finden in der Regel ab dem sechsten Bachelor -Semester erste Projektarbeiten innerhalb der WSP-Testumgebung statt. Hierbei geht es um Themenstellungen wie AR-Applikation, Datengenerierung für KI-Applikationen, Entwicklung von KI-Applikationen, Aufbereitung von Digitalen Zwillingen, Verknüpfung und Erweiterung von Stationen, Anpassung der Smart Production durch das Verändern der Prozessabläufe/Arbeitspläne etc. Gerade die benötigte Integration des Menschen wird in diesem System verdeutlicht und auch didaktisch aufgegriffen. Hierbei geht es zum Beispiel um die Entwicklung von Leit- und Informationssystemen aber auch um die Akzeptanzstärkung, welche in der Grundlagenausbildung aufgrund des breitgefächerten Umfangs und bisher fehlender Ressourcen nur in Grundzügen adressiert werden konnte.

3 Prozessdarstellung der Wildauer Smart Production

Der Hauptprozess der Anlage beschäftigt sich mit der Produktion von individuellen Werkstücken und Schüttgutkombinationen. Über ein MES-System werden die Aufträge aus einem Webshop erfasst und eingesteuert. Wie in den meisten Produktionsunternehmen startet jeder Auftrag in der Rohmaterialbereitstellung. Am Beispiel der WSP werden derzeit drei unterschiedliche Werkstücke (schwarz, rot und transparent) zu Beginn des Prozesses bereitgestellt. Mit Hilfe eines fahrerlosen Transportsystems wird das Werkstück an eine von drei separat stehenden Stationen zur Befüllung geliefert. Abhängig von Auftrag (Materialbefüllung) und Auslastung der Stationen wird dabei die jeweils notwendige Station angefahren. Wobei der Kunde zwischen verschiedenen Schüttgütern wie Mais oder Hirse in individueller Konstellation und Abfüllmenge, idealtypischen Pillen oder einer individuellen Befüllung unterschiedlicher Würfeltypen und -farben auswählen kann.

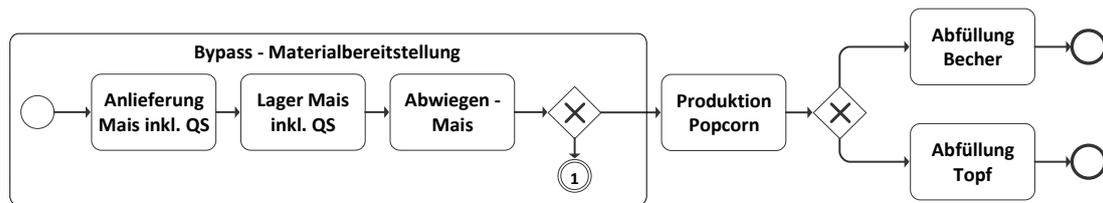


Abbildung 2: Prozessdarstellung der Bypass-Strecke (modulare Prozessstrecke) zur Schüttgutsortierung (Mais)

Die angelieferten Maiskörner werden dabei durch ein Bypass-System, siehe Abbildung 2 (Prozessdarstellung) und Abbildung 3, bereitgestellt. Über ein Förderband durchlaufen diese zuerst eine Qualitätskontrolle. Danach geht es über eine Druckluftförderung ins Zwischenlager. Entsprechend des Bedarfs fördert ein Rüttel-(Muskel)förderer die Körner erneut zu einer QS-Kontrolle bevor diese der Dosierstrecke zugeführt werden. Mittels Dosierschnecke oder Wägetechnik werden die Körner dann entweder der Smart Production zur Abfüllung bereitgestellt oder weiter mittels dem Wirbelstromverfahren zu Popcorn verarbeitet und in einen Topf oder Becher abgefüllt werden.



Abbildung 3: Bypass-Strecke zur Maiskornbereitstellung inkl. Popcorn-Produktion sowie die Stationen Abfüllen von Schüttgütern und Pillen gemeinsam weiterentwickelt mit der Firma ADIRO

Die Abbildung 5 zeigt die verknüpfte Roboterstation, welche die Bestückung der Würfel mit unterschiedlichen Seitenzahlen und Farben mittels einem KI unterstützten Bildverarbeitungssystem übernimmt. Im derzeitigen Konstellationsaufbau befindet sich im Anschluss der Bestückung eine von zwei QS-Stationen die die Überwachung des Füllstandes und der Füllmasse innerhalb der Werkstücke übernehmen, womit min. zwei Qualitätssicherungssysteme für eine kontinuierliche Trainings-Datengenerierung für spätere KI-Applikationen bereitstehen.

Abhängig von Produkt und Prozess durchlaufen nun die Auftragskombinationen einen von drei Hochöfen, wodurch die Thematisierung von Engpasstheorien und die Nachhaltigkeit im Fokus gerückt werden können. [11], [12] Passende Energiemesssysteme für Druckluft, Spannung und Strom innerhalb der Anlage ermöglichen die Erfassung der mannigfaltigen Ressourcenverbräuche an den jeweiligen Stationen und helfen beim Energiemanagement aber auch bei der Nutzung von KI-Applikationen rund um das Thema der Predictive Maintenance.

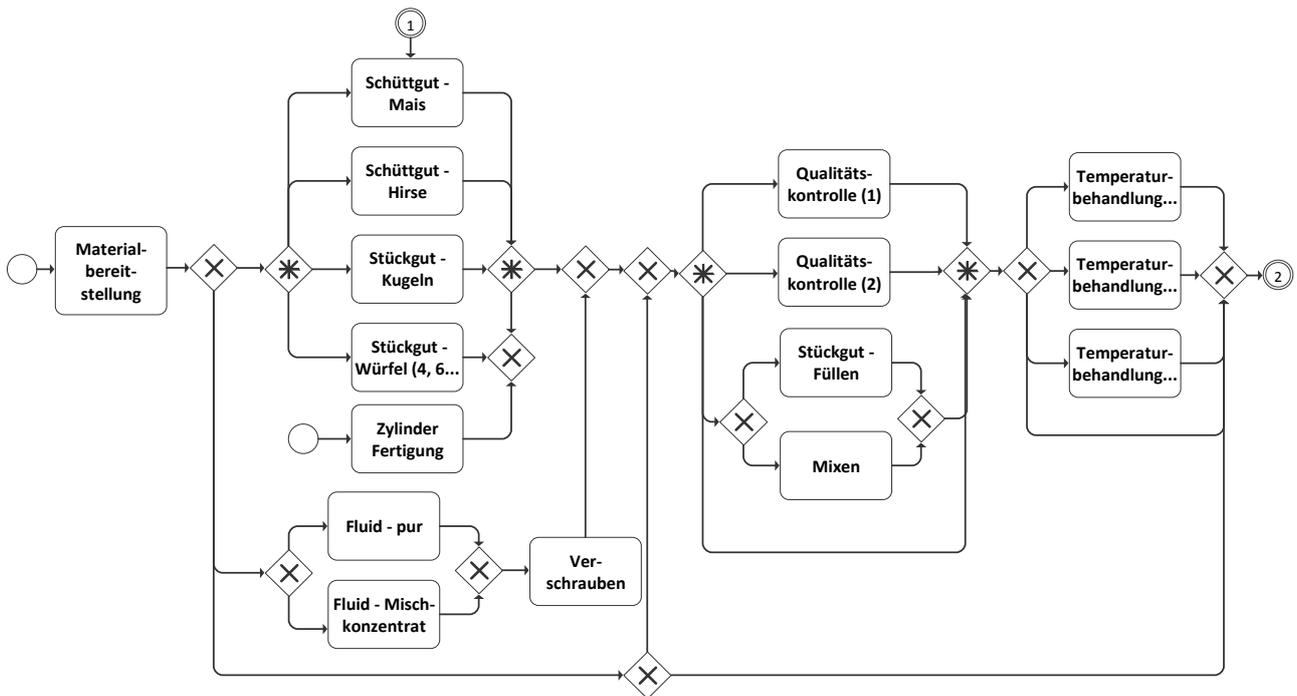


Abbildung 4: BPMN Modell des Produktionssystems

Mittels RFID-Tags, unterhalb der Werkstücke, und fahrerlosen Transportsystemen wird der Transport und die Koordination innerhalb der Produktion umgesetzt. Die Prozessdarstellung nach Abbildung 4 zeigt die bereits erweiterte Konstellation der WSP. Der Bereich Schüttgut-Füllen und Mixen befindet sich gerade im Aufbau. Die Prozessschritte Fluid – pur, Fluid-Mischkonzentration und Verschraubung befinden sich im Design-Prozess. Die Fertigstellung hierfür ist für Ende 2024 angestrebt. Die im BPMN-Modell zusätzlich abgebildete Zylinder Fertigung soll langfristig den manuellen Prozess automatisieren. Sobald alle Stationen komplettiert sind, können in der WSP-Testumgebung Handlungsmöglichkeiten für Schüttgüter, Fluiden und Montageprozessen innerhalb eines Produktionssystems abgebildet werden.

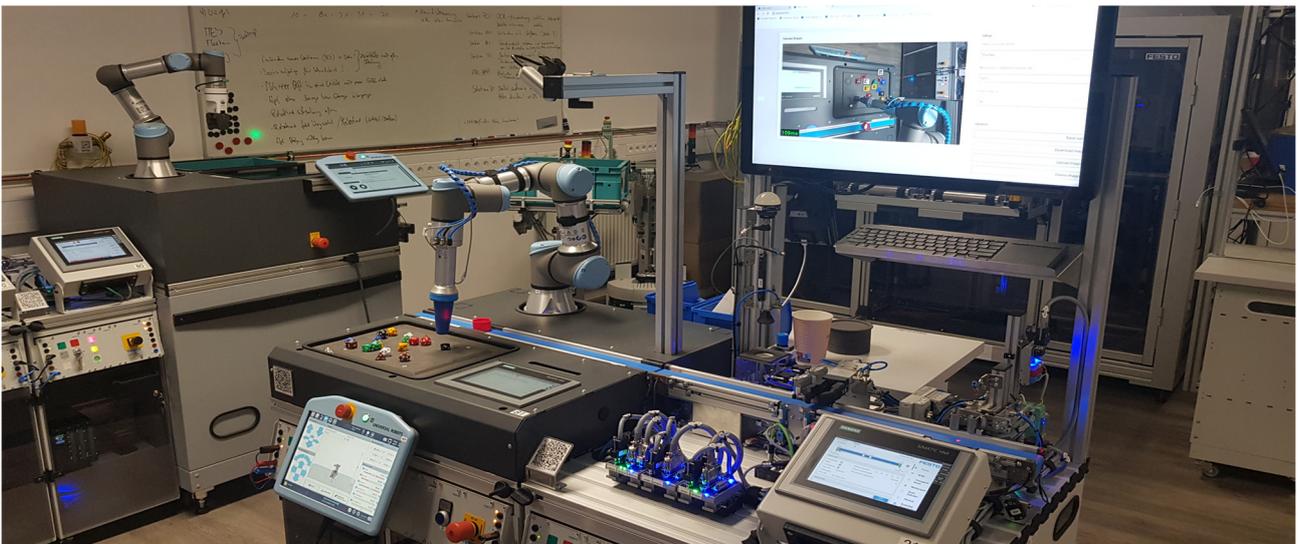


Abbildung 5: Roboterstation mit KI-geführtem Bildverarbeitungssystem

Nach der individuellen Temperierung wird nun auf eine Fertigungslinie gewechselt, in der die befüllten Werkstücke verdeckelt, zwischengelagert, in Kartonagen verpackt, etikettiert, kommissioniert und bis zum Versandprozess im Hochregallager eingelagert werden (siehe Prozessdarstellung in Abbildung 6). Parallel dazu steht auch ein Handarbeitsplatz fürs Recycling wie aber auch für Montagetätigkeiten bspw. der manuellen Zylinderfertigung bereit. Im Bereich des Handarbeitsplatz werden u.a. Themen wie Werkerassistenzsysteme, Expertensysteme, Sprachsteuerungen und Arbeitsplatzüberwachungen adressiert. KI-Applikationen wie eine Bestandsüberwachung, Produktlokalisieren (Würfel entsprechend Farbe und Form finden), QS-Sicherung bei der Überwachung von Verpackungen oder die optische Texterkennung sind weitere Beispiele von derzeit implementierten KI-Anwendungen. Einige Anwendungen befinden sich dabei im Produktions- und Kommissionsabschnitt.

Nachfolgend zeigt die Abbildung 6 nochmal die Prozessdarstellung der linearen Produktionslinie bis zum Zwischenlager auf. Danach startet die Kommissionierungslinie bis zur Roboterunterstützten Bestückung von KLTs. Je nach Prozessablauf übernehmen die fahrerlosen Transportsysteme wieder den Transport zu den nachfolgenden Prozessschritten.

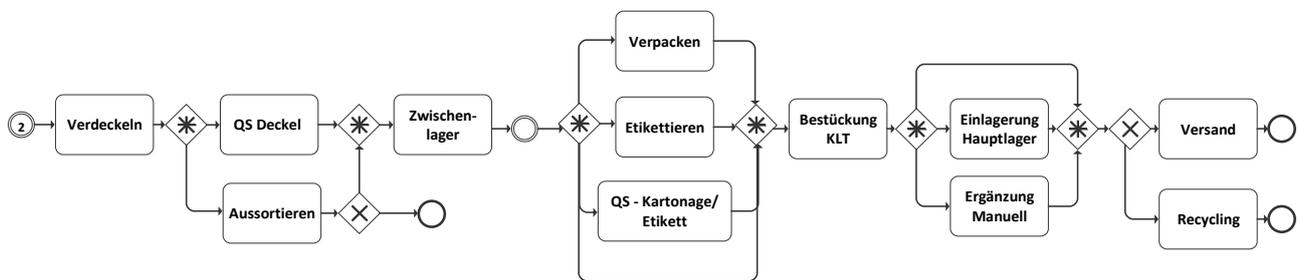


Abbildung 6: BPMN Modell der Verpackungsstrecke der WSP

Die Abbildung 7 zeigt die aktuelle Umsetzung der Abbildung 6 und somit das Ende der Produktionsstrecke (Verdeckeln bis Zwischenlager) sowie den Start der Kommissionierungslinie bis zur roboterunterstützten Bestückung der KLTs. Insgesamt übernehmen somit sechs fahrerlose Transportsysteme den innerbetrieblichen Transport der unterschiedlichsten bestückten/ befüllten Werkstücke und der KLTs.



Abbildung 7: Einblick in die Verpackungsline

4 Ausblick

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags erfolgte die Diskussion des WSP-Anlagenaufbaus sowie deren Integrationsmöglichkeiten zur didaktischen Unterstützung von rudimentären Kenntnissen bis hin zu möglichen industriellen KI-Applikationen im Education 4.0-Kontext. Durch den Aufbau der Wildauer Smart Production werden zudem auch die neuen Herausforderungen der Industrie 5.0 adressiert. Gerade die Einbettung des Menschen in den zukünftigen Sozio-cyberphysischen Produktionssystemen und Human in the Loop-Ansätzen kann nun aus Transfer-, Lehr- und Forschungssicht begegnet werden. Neben der Komplexität der Anlage werden Studierende mit den alltäglichen Herausforderungen bspw. Temperaturschwankungen, Lichtveränderungen aber auch der Problematik von nichtabgestimmten Sensoren konfrontiert. Gerade die zukünftig benötigten Future Skills wie Systemkompetenz können in verschiedenen interdisziplinären Projekt-, Abschluss und Forschungsarbeiten trainiert werden. Durch das vielfältige Anlagenspektrum ist zudem der Grundstein für die praxisnahe Erprobung von KI-Applikationen gesetzt. Wie in den Prozessdarstellungen bereits angedeutet, unterliegt die Wildauer Smart Production einen stetigen Ausbau um einfach theoretische Kenntnisse greifbarer vermitteln zu können. Da hierdurch die größten langfristigen Lernfortschritte innerhalb kürzester Zeit erzielt werden können.

Danksagung: Sowohl als Technische Hochschule Wildau, als Studiengang Automatisierungstechnik aber auch als Forschungsgruppe iC3@Smart Production bedanken wir uns für die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Vorhaben "KI-Nachwuchs@FH2021: Künstliche Intelligenz lernen und anwenden (KILEAN)" mit dem Förderkennzeichen 13FH045KI1 für die Unterstützung beim Aufbau einer studiengangsübergreifenden Lehr-, Lern- und Testbed-Umgebung inkl. passenden KI-Server zur Wissensvermittlung und dessen Ausbau rund um die Thematik Künstlicher Intelligenz.

5 Literaturverzeichnis

- [1] E. Abele, G. Chryssolouris, W. Sihn, J. Metternich, H. ElMaraghy, G. Seliger, G. Sivard, W. ElMaraghy, V. Hummel, M. Tisch und S. Seifermann, „Learning factories for future oriented research and education in manufacturing,“ *CIRP Annals*, Bd. 66, Nr. 2, S. 803-826, 2017.
- [2] D. Schmalzried, M. Hurst, M. Wentzien und M. Gräser, „Analyse der Rolle Künstlicher Intelligenz für eine menschenzentrierte Industrie 5.0,“ *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, Nr. 60, S. 1143–1155, 2023.
- [3] Y. Lu, H. Zheng, S. Chand, W. Xia, Z. Liu, X. Xu, L. Wang, Z. Qin und J. Bao, „Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0,“ *Journal of Manufacturing Systems*, Nr. 62, S. 612-627, 2022.
- [4] C. H. J. Li, V. Liang, Y. T. H. Chow, H.-Y. Ng und S.-P. Li, „A Mixed Reality-Based Platform towards Human-Cyber-Physical Systems with IoT Wearable Device for Occupational Safety and Health Training,“ *Appl. Sci*, Bd. 12, 2022.
- [5] T. S. Ninh, T. D. Hieu und P. T. H. Thu, „Smart factories: Literature review and development prospects,“ *ECONOMICS AND BUSINESS | BUSINESS AND MANAGEMENT*, Bd. 65, Nr. 3, S. 76-81, 2023.
- [6] D. Schepkowski, M. Burghardt und P. Ferdinand, „Pädagogisch-Didaktische Herausforderungen bei der Entwicklung von digitalen Lernumgebungen in der laborbasierten Lehre. Am Beispiel des Projekts <DigiLab4You>,“ *Zeitschrift MedienPädagogik*, Bd. 17, S. 347–372, 2020.

- [7] S. Ahmad, S. Umirzakova, G. Mujtaba, M. S. Amin und T. Whangbo, *Education 5.0: Requirements, Enabling Technologies and Future Directions*, 2023.
- [8] K. North, *Wissensorientierte Unternehmensführung*, Wiesbaden: Gabler Verlag, 2011.
- [9] N. Günther, B. Moraes und J. Reiff-Stephan, „Education in the Era of IoT: Prescriptive Learning Paths as Human-Centered Approach for “Industry 5.0”,“ in *Conference Proceedings: 7. SEMTEC 2020*, São Paulo, 2020, S. 50-57.
- [10] S. Kubica, E. Wolf, D. Nemark, F. Gillert, J. Reiff-Stephan, N. Günther, M. Roedenbeck und M. Schlingelhof, „Wildauer Maschinen Werke – Digitale Lernfabrik für interdisziplinäre Lehre und Forschung,“ in *Hochschulen in Zeiten der Digitalisierung, Angewandte Wirtschaftsinformatik*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2019, S. 63 - 88.
- [11] E. Loizaga, A. T. Eyam, L. Bastida und J. l. M. Lastra, „A Comprehensive Study of Human Factors, Sensory Principles, and Commercial Solutions for Future Human-Centered Working Operations in Industry 5.0,“ *IEEE Access*, Bd. 11, S. 53806-53829, 2023.
- [12] E. M. Goldratt und J. Cox, *Das Ziel*, Frankfurt/Main: Campus-Verl., 2002.
- [13] E. M. Goldratt, *Die kritische Kette*, Frankfurt/Main: Campus-Verl., 2002.