Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

doi.org/10.37544/1436-4980-2024-09-99

Hohe Komplexität von Matrixproduktionssystemen erfordert eine neue Funktion zur Steuerung

Steuerungsbedarfe im operativen Betrieb von Matrixproduktionssystemen

K. Nordwig, S. Kärcher, T. Bauernhansl

ZUSAMMENFASSUNG Matrixproduktionssysteme vereinen die Vorteile einer hohen Flexibilität und Produktivität, haben aber häufig eine höhere Komplexität in der Steuerung. Der Mensch übernimmt in Matrixproduktionssystemen oft kurzfristige Entscheidungsaufgaben, etwa bei Änderungen, Störungen oder Planungslücken. In diesem Beitrag werden bereits bestehende Ansätze in diesem Kontext diskutiert und Steuerungsbedarfe für den operativen Betrieb von Matrixproduktionssystemen abgeleitet sowie erste Handlungsfelder für eine neue Funktion zur Steuerung definiert.

STICHWÖRTER

Industrie 4.0, Lean Production, Produktionsmanagement

Control requirements in the operation of matrix production systems

ABSTRACT Matrix production systems offer high flexibility and productivity but often involve greater complexity in control. In matrix production systems, humans often take on short-term decision-making tasks, e.g., in the event of changes, disruptions, or planning gaps. This article discusses existing approaches in this context, derives control requirements for the operation of matrix production systems, and identifies initial action fields for an emerging control function.

1 Einleitung

Matrixproduktionssysteme sind der Schlüssel zu einer flexiblen und produktiven Produktion. Sie helfen Unternehmen, ihre Resilienz zu steigern und lassen sie auch turbulente Zeiten überstehen. Mit der Matrix können Unternehmen bei hoher Produktivität etwa Stückzahlschwankungen und Änderungen im Produktmix begegnen.

Die Vorteile einer hohen Flexibilität und Produktivität ziehen allerdings oft eine erhöhte Komplexität des Produktionssystems nach sich. Die erhöhte Komplexität des Produktionssystems erhöht auch die Komplexität für die Steuerung und Koordination und führt zu entsprechend höheren Aufwänden [1]. Die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit dieser Produktionssysteme erfordern schnelle Reaktionszeiten auf veränderte Kundenwünsche oder auch kurzfristige Reaktionen auf Störungen (im System oder von außerhalb des Systems) [1, 2]. Dementsprechend muss das Ressourcenmanagement, bestehend aus Arbeitskräften, Maschinen und Materialien, kurzfristig koordiniert werden (können). Aufgrund ihrer Flexibilität bieten Matrixproduktionssysteme mehr Optionen im Umgang mit Störungen und eignen sich daher besonders gut für den Einsatz in einem dynamischen und turbulenten Umfeld [3].

Gleichzeitig entwickeln sich Produktionssysteme im Bereich der Automatisierung und Vernetzung stetig weiter. Die Vision sind flexible, dezentrale und selbststeuernde Abläufe mit Unterstützung cyber-physischer Systeme und intelligenter Assistenzsysteme [4]. Andererseits verfügt der Mensch über wertvolles Erfahrungswissen sowie Fähigkeiten des informellen Organisierens, die im Umgang mit Komplexität und Unsicherheiten im System sehr wichtig sind [1]. Dies führt zu der Annahme, dass sich die Aufgaben des Menschen weg von repetitiven und standardisierten Aufgaben, hin zu kreativen Tätigkeiten sowie Steuerungs- und Koordinationsaufgaben verschieben [5].

Im Kapitel 2 werden die Vorteile und Herausforderungen von Matrixproduktionssystemen, insbesondere mit dem Fokus auf die enthaltene Komplexität, aufgezeigt. Das Kapitel 3 dient der Reflektion und Einordnung einiger bereits bestehender Konzepte zum Umgang mit Störungen und der damit verbundenen Steuerung und Koordination in Produktionssystemen. Im vierten Kapitel werden anhand der vorhandenen Komplexitätstreiber die Steuerungsbedarfe für den operativen Betrieb von Matrixproduktionssystemen abgeleitet und erste Handlungsfelder für eine neue Funktion zur Steuerung definiert.

2 Matrixproduktionssysteme

Aktuelle Herausforderungen, wie eine zunehmende Volatilität im Markt, steigende Variantenvielfalt, kundenindividuelle Produkte, häufige und kurzfristige Änderungen sowie Lieferengpässe, erfordern eine hohe Flexibilität und schnelle Anpassbarkeit von Produktionssystemen [2]. Matrixproduktionssysteme begegnen

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-09-99 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

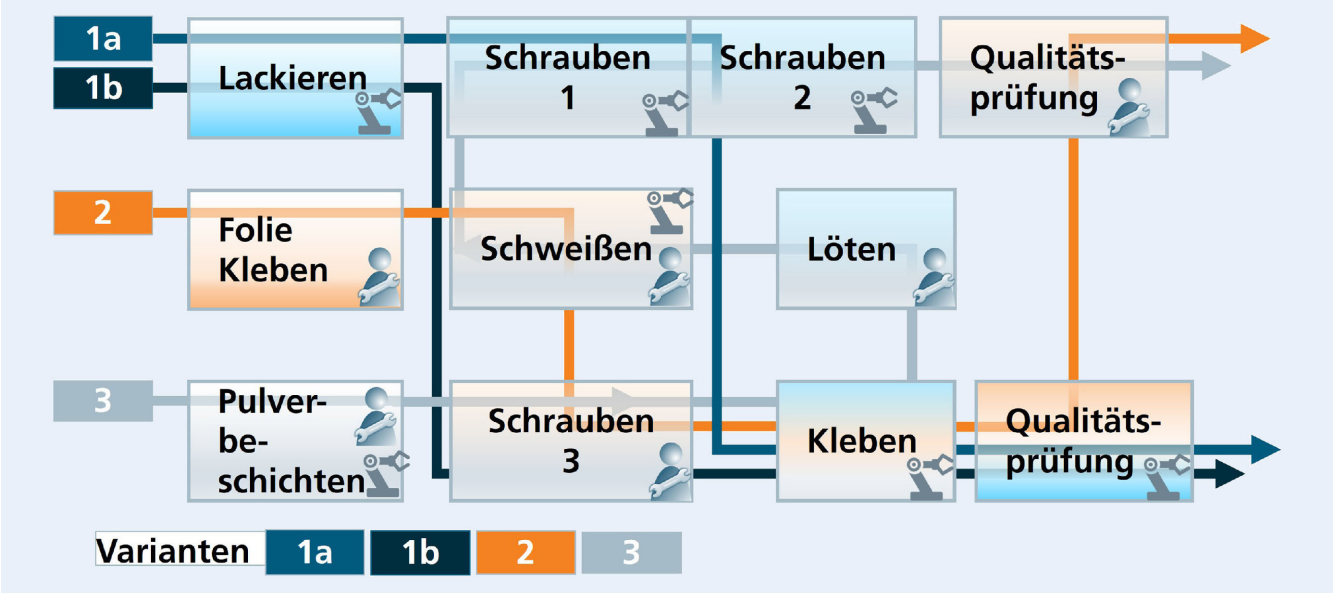

Bild 1. Beispielhafte schematische Abbildung einer Matrixproduktion. *Grafik: Fraunhofer IPA*

diesen Rahmenbedingungen mit Produktivität und Flexibilität [3].

In Matrixproduktionssystemen nutzen mehrere Produkttypen oder Produktvarianten eine gemeinsame Produktionsstruktur. Dabei folgt die Matrixproduktion häufig einem charakteristischen Aufbau, der in **Bild 1** beispielhaft schematisch dargestellt ist. Dabei sind die einzelnen Produktionsressourcen (Prozessmodule) nur dann fest verkettet, wenn zwischen den betreffenden Ressourcen keine Taktzeitspreizung vorliegt. Ansonsten sind die Prozessmodule frei verkettet und jede Variante folgt ihrem eigenen Pfad durch das Produktionssystem. Dabei sind, anders als bei einer Linienorganisation, auch Rückflüsse im System erlaubt (etwa bei Variante 3 in Bild 1), wenn auch die Anordnung der Prozessmodule generell einem Grundfluss folgt. Die Prozessmodule können dabei sowohl als automatisierte oder teilautomatisierte Arbeitsstation aufgebaut sein wie auch manuell betrieben werden. Es kann sich dabei um Einzelarbeitsplätze, verkettete Arbeitsstationen bis hin zu Linienabschnitten handeln. [3]

Der prozessorientierte Aufbau der Bearbeitungsmodule erlaubt unterschiedlichen Produkttypen und Produktvarianten die Nutzung einer gemeinsamen Produktionsstruktur. Jede Variante verfolgt ihren eigenen Pfad durch das Produktionssystem. So ist es beispielsweise möglich, dass eine Grundplatte für die eine Produktvariante mit unterschiedlichen Farben lackiert (Variante 1a und 1b) wird, für eine andere Variante mit Folie beklebt (Variante 2) wird und für eine dritte Variante eine Pulverbeschichtung (Variante 3) gemacht wird. Danach können zum Beispiel verschiedene Anbauteile in unterschiedlichen Fügeprozessen (Schrauben, Schweißen, Löten, Kleben) auf die Grundplatte angebracht werden, bevor abschließend eine manuelle und/ oder automatisierte Qualitätsprüfung stattfindet.

Dieser Aufbau und das Ziel, gleichzeitig eine hohe Flexibilität und eine hohe Produktivität zu erreichen, bringen jedoch häufig eine erhöhte Komplexität im Betrieb dieser Systeme mit sich [4]. Es sind häufig kurzfristig Entscheidungen zu treffen, beispielsweise hinsichtlich der Ressourcenzuordnung, aber auch wenn Störungen den reibungslosen Betrieb des Systems beeinflussen. Auf operativer Ebene findet aufgrund des hohen Planungsaufwands üblicherweise keine Detailplanung für solche Fälle statt, da mit Blick auf den Planungsnutzen nicht für alle Eventualitäten planerisch vorgesorgt werden kann und entsprechend improvisiert werden muss [6, 7]. Voraussetzung für Planung ist Vorhersagbarkeit [8]. Matrixproduktionssysteme werden bewusst flexibel geplant. Ziel ist es, ein System zu gestalten, das aufgrund seiner Flexibilität weniger auf Vorhersagbarkeit in Bezug auf die Planung angewiesen ist. Es sind also bewusst Spielräume in Form von Planungslücken vorhanden, um mit unvorhersehbaren Ereignissen möglichst gut umgehen zu können. Vor dem Hintergrund von Planungslücken, kurzfristig zu treffenden Entscheidungen und dem Umgang mit Störungen gewinnen die Koordinationsfähigkeit und die Entscheidungskompetenz des Menschen an Bedeutung [4, 9].

3 Reflektion bisheriger Ansätze im Bereich Steuerung und Koordination

Produktionssysteme verändern sich im Lauf der Zeit und passen sich neuen Herausforderungen und Rahmenbedingungen sowie aktuellen Trends an. Dabei bleiben die Ziele aus vorangegangenen Trends, wie zum Beispiel der Lean Production, oftmals bestehen. So werden standardisierte Methoden mit dem Ziel einer schlanken Produktion weiterhin häufig eingesetzt [4, 5, 10]. Auch Themen rund um Industrie 4.0 spielen nach wie vor eine wichtige Rolle in Produktionssystemen. Insbesondere die Vernetzung und Automatisierung verändern die Produktionssysteme hin zu cyber-physischen Systemen und damit auch das menschliche Arbeiten und das Arbeitsumfeld [1]. Insbesondere nehmen kreative Aufgabenfelder und Aufgaben mit hohem Koordinationsaufwand, wie etwa Steuerungsaufgaben, größere Teile der menschlichen Arbeit ein, während Routinetätigkeiten automatisiert ablaufen sollen [4, 5, 9, 11]. Der Mensch fungiert als „Augmented Operator“, der die Selbstregelung der Systeme überwacht [12].

Es gibt viele Ansätze zur (ganzheitlichen) Steuerung von Produktionssystemen in der Literatur. Diese fokussieren sich in der Regel auf klassische Produktionssysteme, wie die Linie oder Einzelarbeitsplätze, und berücksichtigen daher nicht die Komplexität

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-09-99 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

eines flexiblen und wandelbaren Produktionssystems, wie dem der Matrixproduktion. Außerdem beschäftigen sich bisherige Ansätze häufig gezielt mit einer (oder mehreren) Teilaufgabe(n) der Steuerung von Produktionssystemen, etwa mit der Auftragszuordnung oder mit Störungen auf Teilsystemebene (etwa der Verschwendung an einzelnen Arbeitsplätzen), aber nicht mit einem ganzheitlichen Ansatz zum Umgang mit unvorhergesehenen Ereignissen, etwa kurzfristige Änderungen oder Störungen auf Ebene des Gesamtsystems. Ähnlich verhält es sich bei Ansätzen zur Auftragseinplanung. Diese fokussieren sich häufig auf algorithmische und/ oder KI-getriebene Lösungen, die allerdings häufig die Auftragseinplanung als losgelöstes Problem betrachten und die Auswirkungen auf das Gesamtsystem nicht (ausreichend) berücksichtigen. [13–16]

Im Folgenden werden exemplarisch einige bestehende Ansätze zum Umgang mit solchen unvorhergesehenen Ereignissen, zum ganzheitlichen Blick auf das Produktionssystem und zur Steuerung am Ort des Geschehens aufgezeigt und diskutiert. Darunter der Ansatz zum Umgang mit Turbulenzen im Auftragsmanagement von *Hans-Hermann Wiendahl* [8], Ansätze mit Ursprung im Lean-Kontext, das Konzept des Springers in der Produktion sowie der Ansatz des „Dirigenten der Wertschöpfung".

3.1 Umgang mit Turbulenzen

Wiendahl [8] beschäftigt sich mit dem Auftragsmanagement in einem turbulenten Umfeld. Er stellt fest, dass insbesondere komplexe Produkt- und Produktionsstrukturen in einem turbulenten Umfeld herausfordernd sind. Aus seiner Sicht können Turbulenzen entweder vermieden oder beherrscht werden. Dies kann über zwei verschiedene Ansätze geschehen: eine differenziertere Planung oder eine reaktionsschnelle Steuerung. Voraussetzung für eine Planung ist dabei Vorhersagbarkeit. [8] Turbulenzen lassen sich demnach in Streuungen, Schwankungen, Frequenzen und Abweichungen unterteilen. Dieses Konzept bezieht sich auf den Umgang mit Turbulenzen im Auftragsmanagement. Dabei werden Lösungen für das Gesamtsystem angestrebt, die logistische Wechselwirkungen mit anderen Aufträgen berücksichtigen [17].

Wiendahl geht in diesem Konzept davon aus, dass sich Turbulenzen zwangsweise in den Aufträgen niederschlagen und dementsprechend das Auftragsmanagement den geeigneten Hebel für den Umgang mit Turbulenzen bietet. Die im Auftragsmanagement festgelegten Reaktionen auf Turbulenzen sollen folglich auf operativer Ebene umgesetzt werden [17].

3.2 Ansätze im Lean-Kontext

Im Zusammenhang mit Lean Production gibt es mehrere Konzepte, die sich damit befassen, Aufgaben an spezielle Rollen zu verteilen und einen Überblick über das Gesamtsystem zu bekommen.

Als erstes Konzept sei Mizusumashi (dt. „Wasserläufer") genannt. Dieses Konzept verfolgt das Ziel, Logistikaufgaben an eine Person im System, den „Mizusumashi" beziehungsweise „Wasserläufer", auszulagern. So kann das Fachpersonal seine Kapazitäten für seine eigentlichen Aufgaben einsetzen und wird von Logistiktätigkeiten entlastet [18].

Ein anderes Konzept aus dem Lean-Kontext ist das „Management by Walking around". Dabei liegt der Fokus neben der Rollenverteilung, die die organisatorische Ebene betrifft, auch darauf, in der Prozessperspektive ein möglichst gutes Verständnis für prozessseitige Probleme zu bekommen. Dazu zählt das Prinzip Genchi Genbutsu, das mit „aktuelle Sache" übersetzt werden kann. Ziel ist, dass sich die Führungskraft direkt am Ort des Geschehens ein Problemverständnis verschafft und nicht auf gefilterte Informationen nachgelagerter Instanzen zurückgreifen muss, um eine Problemlösung erarbeiten zu können. Dies dient einerseits dem Überblick der Führungskraft und andererseits der direkten Mitarbeiterbefähigung am Ort des Geschehens [19].

Eine ähnliche Vorgehensweise liegt dem Prinzip Gemba („Ort des Geschehens") zugrunde. Auch dabei sollen Probleme direkt am Ort des Geschehens analysiert werden, ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess angestoßen, Fehler aufgedeckt und durch Standardisierung von Prozessen vermieden werden [20]. Der Fokus liegt dabei stärker auf der Prozessperspektive.

Ein weiteres Konzept ist das Kamishibai („Papiertheaterspiel"), bei dem es darum geht, anhand eines Kartensystems einen schnellen Überblick über das Gesamtsystem zu erhalten. Die Karten zeigen anhand von Farben den Fortschritt von Aufgaben beziehungsweise den Status von Checkpunkten an [21]. Dies kann als Vorläufer moderner, digitalisierter Assistenzsysteme für den Überblick des Systemzustands gesehen werden.

Die vorgestellten Ansätze berücksichtigen bereits, dass breit gefächerte, allerdings wenig komplexe Aufgaben einer bereichsübergreifenden Instanz übertragen werden können. Es ist wichtig, einen Gesamtüberblick über das System zu haben. In den bisherigen Ansätzen wird dieser primär in Detailbereichen „am Ort des Geschehens" erarbeitet. Dieser Überblick kann, beispielsweise über Karten- oder Assistenzsysteme dargestellt werden, bildet aber nur eine Momentaufnahme ab. Verbesserungen im System mittels Lean-Methoden anzustreben und umzusetzen, bleibt allerdings nach wie vor eine wichtige Aufgabe in Produktionssystemen.

3.3 Konzept des Springers

Springer in der Montage können aufgrund ihrer Kompetenzen vielseitig und flexibel eingesetzt werden und können daher dazu beitragen, Kapazitätsspitzen abzufangen [22]. Es gibt diverse Ansätze, Ausprägungen und Benennungen dieses und ähnlicher Konzepte. Diese reichen von einer Mehrfachqualifizierung von Mitarbeitenden (vgl. Multiskilling) über Job-Rotation-Konzepte, bei denen regelbasiert der Arbeitsplatz gewechselt wird (entspricht nicht dem klassischen Springer-Gedanken), bis hin zu Konzepten, die Springer auf Grundlage ihres individuellen Qualifikationsprofils einsetzen. Dies ist kostengünstiger, da ein Springer dann nicht mehr eine so große Bandbreite an Aufgaben beherrschen muss und entsprechend nicht mehr ganz so umfassend ausgebildet sein muss [4, 23]. Diese Ansätze berücksichtigen die Notwendigkeit flexibel einsetzbarer Arbeitskräfte, um damit besser auf Kapazitätsspitzen reagieren zu können. Konzepte in Richtung Job-Rotation und Mehrfachqualifizierung von Mitarbeitenden lassen darauf schließen, dass Springer aufgrund ihrer breit gefächerten Kenntnisse nicht nur zum Abfangen von Kapazitätsspitzen eingesetzt werden können, sondern auch erfolgreich zur Lösung möglicherweise auftretender Probleme beitragen können. Weitere Aufgaben von Springern sind oft nicht klar definiert.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-09-99 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

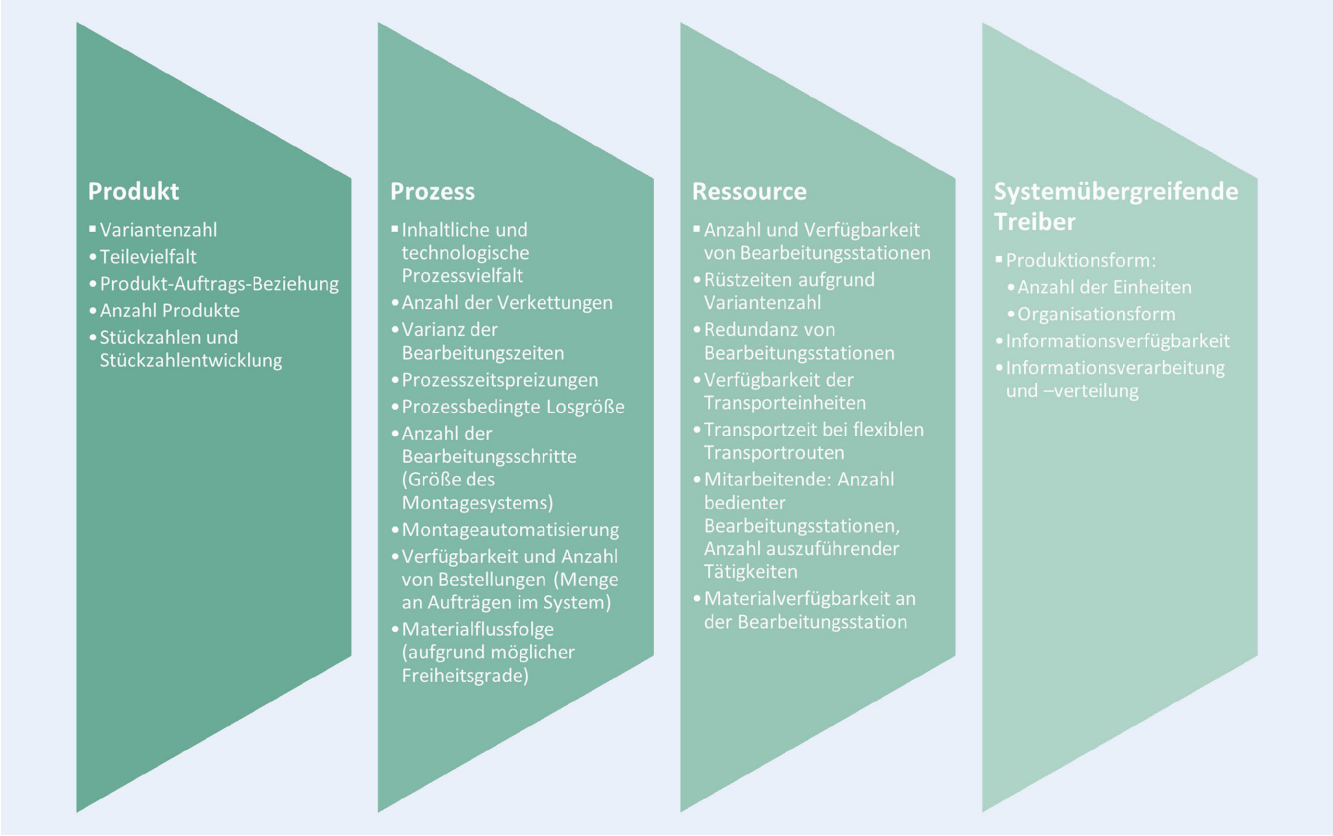

Bild 2. Relevante Komplexitätstreiber für Produkt, Prozess, Ressource und systemübergreifende Treiber auf Grundlage von [28]. *Grafik: Fraunhofer IPA*

3.4 Ansatz des „Dirigenten der Wertschöpfung"

Der Begriff „Dirigent der Wertschöpfung" wurde vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA im Zusammenhang mit dem Applikationszentrum Industrie 4.0 geprägt [24, 25]. Der Mensch soll mit einer vernetzten Arbeitsumgebung und einer mitarbeitergerechten Informationsbereitstellung befähigt werden als „Dirigent" zu agieren. Dies soll die Arbeits-, Planungs- und Entscheidungsqualität sowie Entscheidungsgeschwindigkeit verbessern. Der Fokus liegt insbesondere auf einer situationsspezifischen Kommunikation in Echtzeit. So soll es beispielsweise möglich sein, Rückmeldungen zu entstehenden Engpässen vorausschauend an den verantwortlichen Mitarbeitenden zu übermitteln und nicht nur rückblickend Auswertungen zu Störungen und Auslastungen durchzuführen. [25]

SEW Eurodrive bringt mit dem Begriff „Dirigent der Wertschöpfung" eine neue Rolle zur Steuerung der Fabrik ins Spiel. Sie steuert die Fabrik und hat das „Orchester" der Fabrik im Blick [26]. Sie ist die Schnittstelle von der Produktion zum Kunden. Alle Fäden laufen an dieser Stelle zusammen. Das Ziel ist eine ergebnisorientierte Führung. Der „Dirigent der Wertschöpfung" wird dabei durch smarte Lösungen und Daten in Echtzeit unterstützt. Die Steuerung von Produktion und Logistik wird als neue Aufgabe definiert. [27] Dies verdeutlicht, dass die Anforderungen an die Steuerung und Koordination in Produktionssystemen komplexer werden und nicht allein von bestehenden Rollen abgefangen werden können. Allerdings ist diese noch nicht klar abgegrenzt zu bestehenden Rollen in Produktionssystemen. Die Aufgaben sind teilweise noch nicht konkret beschrieben. Ebenso fehlen konkrete Handlungsoptionen und Steuerungsmechanismen.

4 Ableitung der Notwendigkeit für die Steuerung des operativen Betriebs von Matrixproduktionssystemen sowie erste Handlungsfelder für eine neue Funktion

In Teilkapitel 4.1 wird die Komplexität von Matrixproduktionssystemen genauer beleuchtet. Darauf basierend werden Steuerungsnotwendigkeiten im operativen Betrieb von Matrixproduktionssystemen abgeleitet. Kapitel 4.2 befasst sich in diesem Kontext mit einer neuen Funktion zur Steuerung und deren Aufgaben- und Handlungsfeldern.

Diese neue Funktion soll dazu beitragen, den operativen Betrieb eines Matrixproduktionssystems bestmöglich zu steuern. Dafür werden, insbesondere vor dem Hintergrund kurzfristig zu treffender, komplexer Entscheidungen, die Koordinationsfähigkeit und Entscheidungskompetenz des Menschen benötigt [4, 9]. Anhand der Erarbeitung der Aufgaben- und Handlungsfelder dieser Funktion kann in weiterer Forschung abgeleitet werden, inwiefern der Mensch als Schlüsselelement bei der Steuerung von (Matrix-)Produktionssystemen Unterstützungsbedarfe, beispielsweise durch Assistenzsysteme, hat. Dies ist mit Blick auf ein zunehmend cyber-physisches Produktionsumfeld von besonderer Bedeutung [1]. Dabei ist auch entscheidend, welche Datengrundlage für welches Aufgaben- und Handlungsfeld benötigt wird und welche Daten in welchem Umfang verfügbar sind oder beschafft werden können. Um diese Fragen beantworten zu können, ist es zunächst wichtig, die Aufgaben- und Handlungsfelder dieser neuen Funktion zu verstehen.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-09-99 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

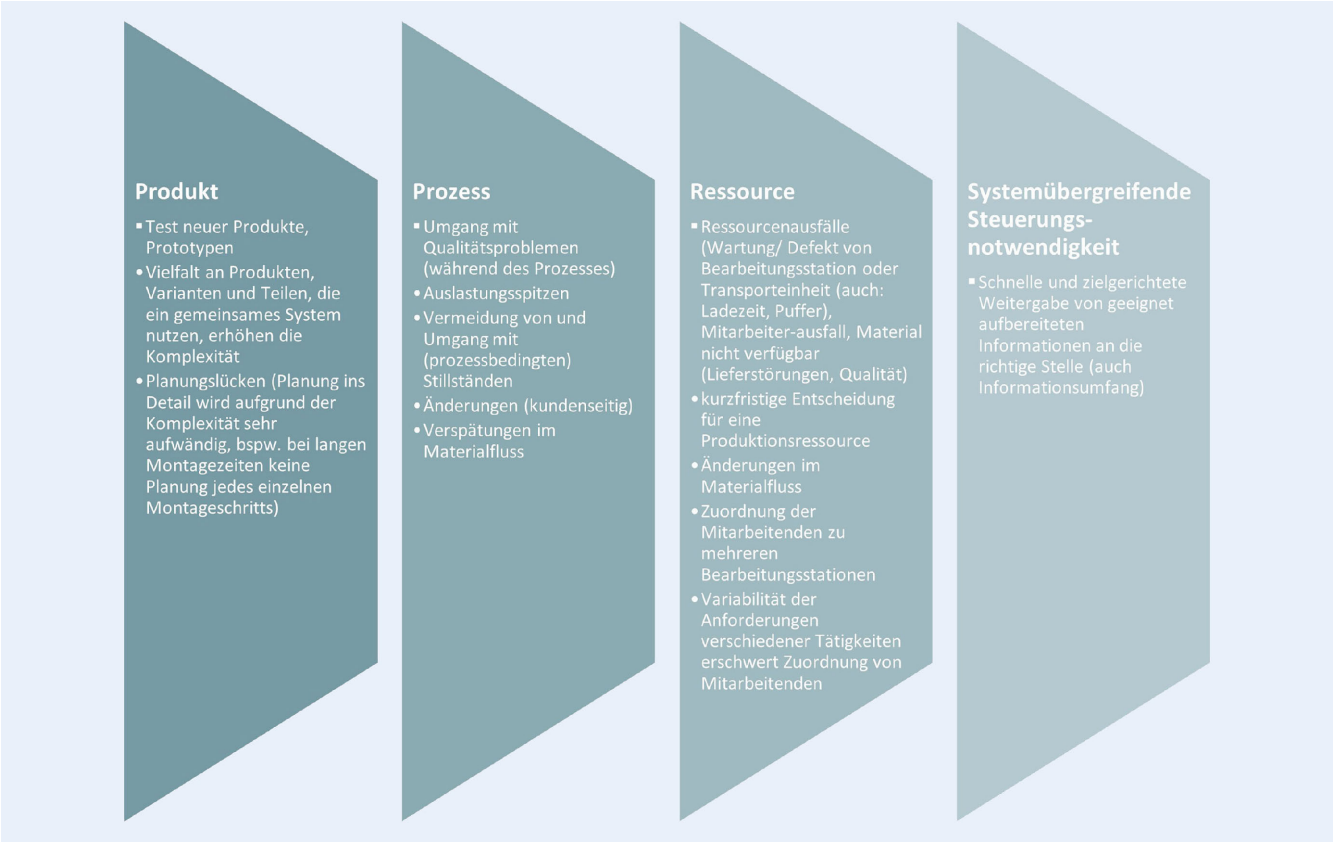

Bild 3. Anhand der Komplexitätstreiber [28] abgeleitete Steuerungsnotwendigkeiten für Produkt, Prozess, Ressource und systemübergreifende Steuerungsnotwendigkeiten. *Grafik: Fraunhofer IPA*

4.1 Ableitung der Notwendigkeit für die Steuerung des operativen Betriebs von Matrixproduktionssystemen

Eine Matrixproduktion hat eine gewisse Komplexität [28]. Komplexitätstreiber [28], also (besondere) Charakteristiken einer Matrixproduktion, die zu einer erhöhten Komplexität führen, können den Kategorien Produkt, Prozess oder Ressource zugeordnet werden oder sie betreffen übergreifende Systemelemente. Diese Komplexitätstreiber zeigen, dass eine Steuerung im operativen Zeitraum notwendig ist. In **Bild 3** wurde auf Grundlage der Komplexitätstreiber von Matrixproduktionssystemen [28] (dargestellt in **Bild 2**), diese Notwendigkeit abgeleitet. In [28] wird die Komplexität von Matrixproduktionssystemen umfassend beleuchtet und es wird beschrieben, worin diese Komplexität begründet ist. Auf dieser Grundlage werden in diesem Beitrag Steuerungsnotwendigkeiten für den operativen Betrieb von Matrixproduktionssystemen abgeleitet. Das Verständnis dieser Steuerungsnotwendigkeit im operativen Zeitraum ermöglicht es in einem nächsten Schritt Handlungsfelder für eine steuernde Funktion zu definieren. Diese bieten einen Handlungsrahmen für eine solche Funktion im operativen Betrieb von Matrixproduktionssystemen. Dabei soll diese Funktion über die relevanten Informationen verfügen beziehungsweise mit diesen versorgt werden, sodass sie durch das Treffen kurzfristig benötigter Entscheidungen zu einem reibungslosen Betrieb im operativen Zeitraum beiträgt sowie die Informationen über diese getroffenen Entscheidungen in die Datenebene überführt.

Hinsichtlich des Produkts wurde die Vielfalt (zum Beispiel an Varianten, Teilen, Produkten), die in Matrixproduktionssystemen abgebildet werden kann, als Herausforderung identifiziert. Diese führt zu einer höheren Komplexität des Systems. Zudem kann aufgrund der Komplexität nicht bis ins Detail geplant werden, wodurch Planungslücken auftreten. Zusätzlich erschweren schwankende Stückzahlen und schwer zu prognostizierende Stückzahlentwicklungen die Planung. Der Bedarf nach steuernden Eingriffen wird damit tendenziell wahrscheinlicher. Außerdem werden steuernde Eingriffe auch beim Test der Herstellung von neuen Produkten und Prototypen im Produktionssystem notwendig.

Hinsichtlich des Prozesses konnten Auslastungsspitzen oder (prozessbedingte) Stillstände an einzelnen Bearbeitungsstationen aufgrund der Varianz der Bearbeitungszeiten verschiedener Produkte und Varianten als Herausforderungen identifiziert werden. Die inhaltliche und technologische Prozessvielfalt stellt eine weitere Herausforderung dar. Kurzfristige Änderungswünsche von Kunden, Verspätungen im Materialfluss sowie prozessbedingte Qualitätsprobleme, ebenso wie Engpässe an den Bearbeitungsstationen, machen einen steuernden Systemeingriff erforderlich. Es muss etwa geklärt werden, wie Prozesse zur Nacharbeit erfolgen und eingeplant werden sollen und wann die Notwendigkeit zum Ausschleusen des Produktes gegeben ist. Dabei ist auch zu klären, wie Produkte ausgeschleust werden können und wer die Verantwortung für die weiteren Prozessschritte übernimmt.

Auf Ebene der Ressourcen muss steuernd in das System eingegriffen werden, wenn es zu Ressourcenausfällen (Mitarbeiter/in, Transporteinheit, Bearbeitungsstation, Material) kommt und

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-09-99 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

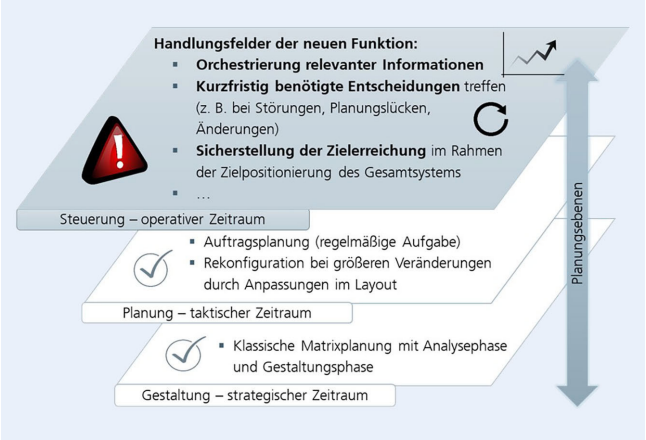

Bild 4. Handlungsfelder der neuen Funktion für die Steuerung des operativen Betriebs von Matrixproduktionssystemen. *Grafik: Fraunhofer IPA*

wenn kurzfristige Zuordnungsentscheidungen der Ressourcen (Mitarbeiter/in, Bearbeitungsstation, Transportmittel) zu treffen sind. Zudem haben kurzfristige Entscheidungen ggf. Änderungen der Routenplanung der Transporteinheiten und Dauer der Transporte zur Folge oder Mitarbeitende müssen entsprechend ihres Qualifikationsprofils mit Aufgaben versorgt werden. Dies führt systemübergreifend zu der Notwendigkeit, die richtigen Stellen möglichst schnell mit den richtigen und passend aufbereiteten Informationen zu versorgen. Auch ein geeignetes Informationsvolumen ist dabei zu beachten. Die Herausforderung beginnt dabei häufig schon bei der Verfügbarkeit der relevanten Informationen.

Es müssen vor allem kurzfristig Entscheidungen getroffen und mit kurzfristig auftretenden Ereignissen im Produktionssystem umgegangen werden. Dafür ist eine schnelle Reaktion und eine das Gesamtsystem berücksichtigende Lösungsfindung entscheidend. Für diesen Überblick und entsprechend schnelles Handeln im operativen Betrieb bedarf es einer neuen Funktion für die Steuerung von Matrixproduktionssystemen.

4.2 Ableitung von Handlungsfeldern für eine neue Funktion zur Steuerung des operativen Betriebs von Matrixproduktionssystemen

Bild 4 zeigt die unterschiedlichen Planungsebenen und ordnet die abgeleiteten Handlungsfelder für eine neue Funktion zur Steuerung des operativen Betriebs von Matrixproduktionssystemen darin ein.

Die Aufgaben der neuen Funktion liegen im operativen Zeitraum. Sie dienen der Steuerung kurzfristig auftretender Ereignisse, wie zum Beispiel Störungen und Änderungen, sowie dem Umgang mit Planungslücken und kurzfristig auftretenden Entscheidungsbedarfen. Gestalterische und planerische Aufgaben aus dem strategischen und taktischen Zeitraum sind nicht Teil der Handlungsfelder der neuen Funktion.

Matrixproduktionssysteme sind aufgrund ihrer flexiblen Gestaltung tendenziell robuster gegenüber Störungen als andere Produktionssysteme, wie etwa eine Linienproduktion. Solche Störungen, wie ein Ressourcenausfall (Mitarbeiter/in, Maschine, Material) treten in der Regel spontan auf. Daher sind die Informationen darüber meist nicht über die üblichen IT-Systeme, zum Beispiel MES, verfügbar. Dennoch muss der Umgang mit einer solchen Störung koordiniert werden. Entscheidungen, wie mit der Störung umgegangen wird, müssen schnell getroffen und kommuniziert werden. Mitarbeitende und technische Systeme müssen ad hoc über Änderungen informiert werden, um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Gerade diese Informationen, die durch kurzfristig getroffene Entscheidungen oder Änderungen entstehen, werden häufig direkt auf dem Shopfloor geteilt und oft nicht digitalisiert. Es ist dennoch wichtig, diese Informationen auch wieder in die Datensysteme zurückzuspiegeln. Daraus leitet sich das Handlungsfeld „Orchestrierung relevanter Informationen“ ab. Das Ziel dabei ist ein funktionierender Informationsfluss an die relevanten Stellen, insbesondere bei kurzfristig getroffenen Entscheidungen. Dieses Handlungsfeld betrifft folglich die Kommunikation auf Shopfloor-Ebene und gleichzeitig die korrekte Verarbeitung von Informationen, die aufgrund der Kurzfristigkeit nicht in der Datenebene auftauchen und/oder deren Ergebnis nicht in die Datenebene zurückgespielt wird.

Bevor die relevanten Informationen allerdings an die richtige Stelle fließen können, müssen kurzfristig benötigte Entscheidungen überhaupt erst einmal getroffen werden. Dieser Entscheidungsbedarf kann einerseits durch Störungen verursacht werden, die es möglichst aufwandsarm und zügig zu beheben gilt. Er kann aber auch durch andere Ursachen, wie etwa Änderungswünsche von Kundenseite ausgelöst werden, die im System verarbeitet und umgesetzt werden müssen. Eine weitere Ursache für kurzfristig benötigte Entscheidungen können die in Kapitel 2 angesprochenen Planungslücken sein. Nicht alle Details können vorausgeplant werden, sodass kurzfristig Informationen und Entscheidungen erforderlich sind.

Auf operativer Ebene ist neben einem möglichst störungsfreien und reibungslosen Betrieb des Systems auch die Sicherstellung der Zielerreichung des Systems im Rahmen der Zielpositionierung wichtig. Dazu müssen zunächst für den operativen Betrieb von Matrixproduktionssystemen relevante Kennzahlen definiert werden. Zudem muss ein ganzheitlicher Blick auf das System gerichtet sein, um die Ziele des Gesamtsystems zu erreichen. Die Ziele sollen trotz auftretender Störungen, Änderungen und Planungslücken möglichst gut erreicht werden. Bild 4 zeigt die verschiedenen Planungsebenen und ordnet die neue Funktion darin ein.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden Matrixproduktionssysteme als produktive und flexible Produktionssysteme, vorgestellt. Ein Überblick über eine Auswahl bereits bestehender Ansätze zur Steuerung kurzfristiger Ereignisse im operativen Betrieb zeigt, dass es noch keine Funktion zur Steuerung des operativen Betriebs von Matrixproduktionssystemen gibt. Auf Basis der Komplexitätstreiber einer Matrixproduktion wurde abgeleitet, dass diese Funktion im operativen Zeitraum jedoch sinnvoll ist. Weiter konnten erste Handlungsfelder für die neue Funktion definiert werden: die Orchestrierung von Informationen, das Treffen kurzfristiger Entscheidungen und die Sicherstellung der Zielerreichung.

In weiterer Forschung gilt es, die Aufgabenfelder dieser neuen Funktion klar zu definieren, abzugrenzen und zu gestalten. Weitere wichtige Themen sind Schnittstellen und systemübergreifende Wirkzusammenhänge. Außerdem müssen relevante Kennzahlen für Matrixproduktionssysteme, auftretende Störungen, ihre Auswirkungen und Handlungsalternativen zum Umgang mit Stö-

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-09-99 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

rungen im Zusammenhang mit den vorhandenen Freiheitsgraden in einem Matrixproduktionssystem betrachtet werden. Ergänzend dazu muss die Datengrundlage für Entscheidungen in den entsprechenden Handlungsfeldern erfasst und erarbeitet werden.

Literatur

[1] Huchler, N.: Die ‚Rolle des Menschen' in der Industrie 4.0 – Technikzentrierter vs. humanzentrierter Ansatz, 2015
[2] Meier, K.-J.; Pfeffer, M.: Produktion und Logistik in der digitalen Transformation. Analyse – Planung – Praxiserfahrungen. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler 2022
[3] Hellmich, A.; Zumpe, F.; Zumpe, M. et al.: Umsetzung von cyber-physischen Matrixproduktionssystemen, 2022
[4] Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S. et al.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0
[5] Vogel-Heuser, B.: Handbuch Industrie 4.0 Bd.1. Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2017
[6] Müller, D.: Zur Rolle von Planung und Improvisation in KMU. Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung 21 (2009) 7, 364–370
[7] Kärcher, S.: Methodik zur automatisierten Generierung einer best-practice-basierten Ablaufplanung manueller Montagesysteme. Stuttgart: Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, Band 162 2024
[8] Wiendahl, H.-H.: Auftragsmanagement im turbulenten Umfeld. Teil 1 – Anforderungen. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 4, S. 183–189
[9] Haase, T.; Termath, W.; Schumann, M.: Integrierte Lern-und Assistenzsysteme für die Produktion von morgen. In: Meier, H. (Hrsg.): Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt. Berlin: GITO 2015, S. 183–207
[10] Brenner, J.: Lean Production. Praktische Umsetzung zur Erhöhung der Wertschöpfung. München: Hanser 2018
[11] Landherr, M.; Schneider, U.; Bauernhansl, T.: The Application Center Industrie 4.0 – Industry-driven Manufacturing, Research and Development. Procedia CIRP 57 (2016), S. 26–31
[12] MPDV: Auf dem Weg zur Smart Factory: das Vier-Stufen-Modell. MPDV Mikrolab GmbH (2020)
[13] Müller, D.: Flexibilitätsorientierte Selbststeuerung. Dissertation, Praxiswissen Service UG
[14] Bochmann, L. S.: Entwicklung und Bewertung eines flexiblen und dezentral gesteuerten Fertigungssystems für variantenreiche Produkte, ETH Zurich, 2018
[15] Echsler Minguillon, F: Prädiktiv-reaktives Scheduling zur Steigerung der Robustheit in der Matrix-Produktion
[16] Göppert, A.; Hüttemann, G.; Jung, S. et al.: Frei verkettete Montagesysteme. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 113 (2018) 3, S. 151–155
[17] Wiendahl, H.-H.: Auftragsmanagment im turbulenten Umfeld. Teil 2 – Lösungsansätze. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 5, S. 325–330
[18] Media, W.: Mizusumashi – Leonardo Group GmbH. Stand: 08.06.2022. Internet: https://www.leonardo-group.com/mizusumashi/. Zugriff am 08.11.2023
[19] REFA.de: Genchi Genbutsu. Stand: 08.11.2023. Internet: https://refa.de/service/refa-lexikon/genchi-genbutsu. Zugriff am 08.11.2023
[20] REFA.de: Gemba. Stand: 08.11.2023. Internet: https://refa.de/service/refa-lexikon/gemba. Zugriff am 08.11.2023
[21] LeanBase.de: Kamishibai. Stand: 08.11.2023. Internet: https://leanbase.de/lexicon/kamishibai. Zugriff am 08.11.2023
[22] Siedelhofer, C.; Henke, T.; Konrad, B. et al.: Konzepte zur Effizienzsteigerung von Variantenfließlinien bei hohen Variantenanzahlen. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 111 (2016) 10, S. 594–597
[23] Abele, E.; Reinhart, G.: Mitarbeiterorientiertes Produktionsmanagement. In: Abele, E.; Reinhart, G. (Hrsg.): Zukunft der Produktion. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG 2011, S. 33–37
[24] Kärcher, S.; Görzig, D.; Foith-Förster, P. et al.: Das Applikationszentrum Industrie 4.0. Vorgehen, Planung und Erfolgsfaktoren. wt Werkstattstechnik online 109 (2019) 3, S. 106–110
[25] Bauernhansl, T.: Industrie 4.0: Entwicklungsfelder für den Mittelstand. Aktuelle Hemmnisse und konkrete Bedarfe, Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2016
[26] SEW Eurodrive: Mensch-Maschine-Interaktion | SEW-EURODRIVE. Stand: 24.05.2024. Internet: https://www.sew-eurodrive.de/automatisierung/fabrikautomatisierung/industrie-40/mensch-maschine-interaktion/mensch-maschine-interaktion.html. Zugriff am 24.05.2024
[27] SEW Eurodrive: Mensch-Maschine-Interaktion | SEW-EURODRIVE. Stand: 22.12.2023. Internet: https://www.sew-eurodrive.de/automatisierung/fabrikautomatisierung/industrie-40/mensch-maschine-interaktion/mensch-maschine-interaktion.html. Zugriff am 22.12.2023
[28] Berkhan, P.; Kärcher, S.; Bauernhansl, T.: Data Acquisition to Handle Complexity in Matrix Production Systems. Procedia CIRP 120 (2023), S. 261–266

Kristina Nordwig, M. Sc.
kristina.nordwig@ipa.fraunhofer.de
Tel. +49 711 / 970-3435
Foto: Fraunhofer IPA

Dr.-Ing. Susann Kärcher

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Universität Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF
Allmandring 35, 70569 Stuttgart
www.iff.uni-stuttgart.de

LIZENZ

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

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-09-99 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY