

Schlüsselfertige Automatisierung in der mittelständischen Einzel-/ Klein- und Mittelserienfertigung

MES-gesteuertes Flex Load System zur vollautomatischen Be-/ Entladung von Werkzeugmaschinen mit Roh- und Fertigteilen, Werkzeugen sowie Spannmitteln

Joachim Berlak, Michael Stangl, Luciano Baumgart und Thomas Lorenscheit

Abstract

Kleine und mittelständische Unternehmen mit bis 250 Mitarbeiter sind das Rückgrat der Deutschen Industrieproduktion. Aufgrund sich starkändernder Umfeldbedingungen ergeben sich große Herausforderungen für deren Produktionssysteme zur Einzel-/ Klein- und Mittelserienproduktion: Fachkräftemangel, hohe bzw. steigende Personalkosten, hohe Produkt- und Bauteilvarianz, Druck auf Termintreue, Durchlaufzeiten und Kosten sowie u.a. neue Anforderungen für nachweisliche Energieeffizienzsteigerungen bedingen produktivere und wettbewerbsfähigere Produktionssysteme. Ein Ansatz hierfür stellt die Schlüsselfertige Automatisierung Be-/ Entladung von Werkzeugmaschinen mit Roh- und Fertigteilen, Werkzeugen sowie Spannmitteln dar. Aktuell gibt es hierzu keine schlüsselfertigen Lösungen, Anbieter wie DMG-Mori oder Torwegge haben dieses Jahr erstmals Lösungen vorgestellt. Es mangelt noch u.a. an der Eignung für den Mittelstand, den hohen Kosten, der mangelnden Skalier-, Erweiterbar- und Integrierbarkeit in das gesamte Ökosystem der Produktion und IT. Vor diesem Hintergrund haben sich die Autoren der Lorenscheit Automatisierungstechnik GmbH aus Dahlenburg sowie der software4production GmbH aus München mit Ihren Kompetenzen zur Automatisierung und Digitalisierung zusammen getan und ein Schlüsselfertige Automatisierungslösung hierfür entwickelt. Diese wird im Rahmen dieses Artikels vorgestellt und auf der Messe Nortec in Hamburg vom 20.-24. Januar 2020 sowie der Hannovermesse HNI vom 20. bis 24. April 2020 live demonstriert.

In diesem Beitrag lesen Sie:

- Aktuelle Herausforderungen für mittelständische Industrieunternehmen der Einzel-/Klein- und Mittelserienfertigung kennen,
- wie Automatisierungslösungen zur vollautomatischen Be-/ Entladung von Werkzeugmaschinen mit Roh- und Fertigteilen, Werkzeugen sowie Spannmitteln diese Herausforderungen lösen können und
- warum es bis auf die vorgestellte Lösungen kaum schlüsselfertige Ansätze hierfür gibt.

Prof. Dr.-Ing. Joachim Berlak ist Geschäftsführer der software4production GmbH und Professor für Wirtschaftsingenieurwesen an der FOM Hochschule am Studienort München.

Michael Stangl M.Sc. ist Software Engineer und Senior Consultant bei der software4production GmbH.

Luciano Baumgart M.Sc. ist für das Projektmanagement und Robotik bei der Lorenscheit Automatisierungstechnik GmbH zuständig.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Thomas Lorenscheit ist Geschäftsführer der Lorenscheit Automatisierungstechnik GmbH in Dahlenburg.

www.software4production.de

www.moving-production.com

Schlüsselwörter:

Automatisierung, MES, Industrie 4.0, OPC UA, KI, Be-/Entladung von Werkzeugmaschinen, KMU

Turnkey automation in medium-sized single / small and medium batch production: MES-controlled Flex Load System for fully automatic loading / unloading of machine tools with raw and finished parts, tools and clamping devices

Small and medium-sized companies with up to 250 employees are the backbone of German industrial production. Due to strongly changing environmental conditions, there are major challenges for their production systems in single, small and medium batch production are among other things the shortage of skilled workers, high or rising personnel costs, high product and component variance and pressure on delivery dates, lead times and costs. New requirements regarding real energy efficiency increases require more productive and competitive production systems. One approach to solve this is the turnkey automation for loading and unloading of machine tools with raw material or finished parts, tools and clamping devices. Currently there are no turnkey solutions. Providers such as DMG-Mori or Torwegge have presented solutions for the first time this year. They lack among other things regarding the suitability for medium-sized companies, the high costs, the lack of scalability, expandability and integration in the entire ecosystem of production and IT. Against this background, the authors of Lorenscheit Automatisierungstechnik and software4production have teamed up with their expertise in automation and digitization technologies and developed a turnkey automation solution for this purpose. This solution is described within this article and will be demonstrated at the fair Nortec in Hamburg from 20.-24. January 2020 and the Hanover Fair HNI from April 20th to 24th, 2020 live in a real production environment.

Keywords:

Automation, MES, Industry 4.0, OPC UA, KI, loading of machine tools, SME

Ausgangssituation und Motivation

Unternehmen können aufgrund der Anzahl ihrer Beschäftigten, des Umsatzes sowie der Bilanzsumme in verschiedene Klassen eingeteilt werden (siehe Abbildung 1).

Unternehmensgröße	Zahl der Beschäftigten nach		Jahresumsatz in € nach	Bilanzsumme in € nach
	IfM	EU	IfM und EU	EU
kleinst	bis 9	bis 9	bis 2 Millionen	bis 2 Millionen
klein	bis 49	bis 49	bis 10 Millionen	bis 10 Millionen
mittel	bis 499	bis 249	bis 50 Millionen	bis 43 Millionen

Abbildung 1: Einteilung von kleinen und mittelständischen Industrieunternehmen [1]

Im Rahmen dieses Beitrags werden mittlere Unternehmen des Produktionsgewerbes mit einem Jahresumsatz bis 50 Millionen Euro und bis 499 Beschäftigte fokussiert. Vogt definiert beruhend auf den Normen DIN EN ISO 9000:2015 und DIN 55350 die Produktion als „Prozess zur Herstellung von Produkten“ [2]. Die Produktion ist somit ein Transformationsprozess, in dem ein Mehrwert generiert wird [3]. Hierzu wird der Input des Produktionsprozesses (z.B. Rohstoffe) unter Verwendung von Produktionsmitteln (z.B. Arbeitskraft, Werkzeugmaschinen) weiterverarbeitet bzw. veredelt und führt zu einem wertgesteigerten Output (z.B. Produkt). Produzierende Unternehmen besitzen vor diesem Hintergrund ein sogenanntes Produktionssystem, welches als Subsystem des Unternehmens verstanden werden kann [4]. Das Produktionssystem steht mit seiner relevanten Umwelt über die Absatz-, Beschaffungs-, Finanz-, Personal- und Technologiesystem in Verbindung. Die folgende Abbildung 2 skizziert ein Produktionssystem mit seinen direkt in Verbindung stehenden Subsystemen im Unternehmen und seiner makroskopischen Umwelt.

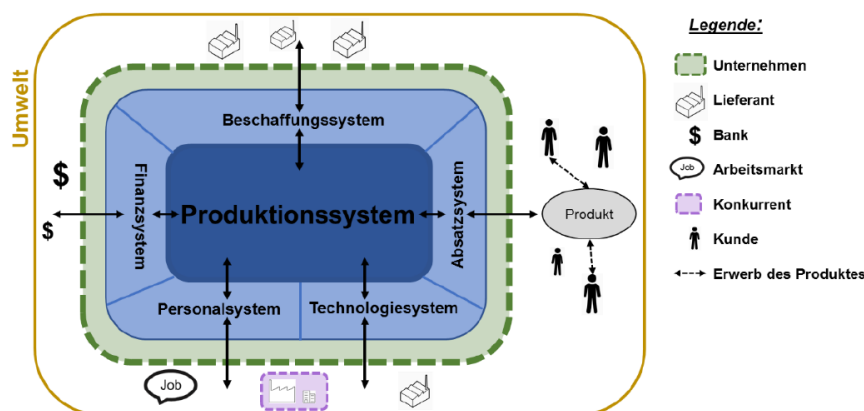


Abbildung 2: Das Produktionssystem in Anlehnung an [4]

Nach Schmidt und Schuh organisieren Produktionssysteme die Produktion und umfassen standortunabhängig alle Produktionsprozesse. Sie bilden somit die Infrastruktur und das Umfeld der Produktion ab [5]. Für diese Arbeit wird der Begriff des Produktionssystems wie folgt verwendet: Produktionssysteme organisieren die Produktion und umfassen standortunabhängig alle Produktionsprozesse. In ihnen findet das Fertigungsgeschehen statt und somit die physischen Prozesse zur Kombination und Umwandlung von Produktionsfaktoren [6]. Daher bilden Produktionssysteme die Infrastruktur und das Umfeld der Produktion ab [7].

Produktionssysteme können bezogen auf die produzierte Menge in Einzel-, Kleinserien-, Mittelserien-, Großserien- oder Massenfertigung unterschieden werden [8]. Des Weiteren kann zwischen der auftragsorientierten und der marktorientierten Serienfertigung differenziert werden [6]. Bei der auftragsorientierten Serienfertigung werden teilweise standardisierte Produkte nach einem Kundenauftrag gefertigt. Bei der marktorientierten Serienfertigung werden teilweise standardisierte Produkte kundenanonym auf Lager produziert [8]. Im Fokus des Beitrags stehen mittlere Industrieunternehmen mit einem Produktionssystem zur auftrags- oder marktorientierten Einzel-, Klein- oder Mittelserienfertigung. Diese stehen aus Sicht der Autoren aktuell vor folgenden Herausforderungen:

1. Fachkräftemangel: Maschinenbediener, Messtechniker und Intralogistiker sind rar, die Produktion muss aber unter dynamischen Umfeldbedingungen weitergehen.
2. Hohe bzw. steigende Personalkosten: u.a. Mindestlohn oder Lohnerhöhungen führen dazu, dass sich eine Automatisierung nun mehr mit Return-on-Invest (ROI) Amortisationszeiten von <9 Monaten schnell rentieren kann.
3. Hohe Produkt- und Bauteilvarianz aufgrund von kundenindividueller Produktion: das Produktionssystem muss sehr flexibel sein und mit unterschiedlichen Baueilvarianzen umgehen können. Eine Großserien- und Massenproduktion gibt es im produzierenden Mittelstand quasi nicht mehr.
4. Logistischen Ziele verschieben sich noch mehr in Richtung hoher Termintreue bei kürzesten Durchlaufzeiten und niedrigen Kosten: Dynamische Auftragspriorisierung und Umplanungen erfordern eine Produktionsplanung und -steuerung in Quasi-Echtzeit als Mittel zur optimalen Reaktion auf die sich stetig verstärkende Dynamik: u.a. Kompensation von Maschinenausfällen durch Umleitung der Aufträge auf andere Werkzeugmaschinen mit gleichen Fähigkeiten usw.
5. Hohe Varianz und Dynamik der Wertschöpfungsprozesse und somit Arbeitspläne: einige Bauteile einer Losgröße gehen auf Maschine 1, dann 2 und final auf 3. Andere Bauteile desselben Auftrags wiederum z.B. aufgrund von Qualitäts- oder Produktionsanforderungen den Weg von 1, auf 4, dann 2, wieder auf 1 und dann 3. Und dies meist bei Werkstatt- oder Inselfertigung mit flexibler Materialflussverkettung.
6. Hohe kundenseitige Qualitätsanforderungen: Die Messtechnik muss heute modular und intelligent direkt in das Produktionssystem integriert werden.
7. Steigende Anforderungen für nachweisliche Energieeffizienzsteigerungen und CO₂-Neutralität: u.a. fordern dies große OEMs wie VW beim ID.3 über die Wertschöpfungskette hinweg ein und kontrollieren dies strikter [9]. Damit müssen mittelständische Zulieferer auch ressourceneffizient in 7/24 produzieren können, was durch den zentralen Punkt 1. Personal oft nicht möglich ist.
8. Hohe Produktionstransparenz und Nachverfolgbarkeit: Verlässliche Antworten auf Fragen wie u.a. sind die Bauteile schon auf der Maschine? In welchem Produktionsprozess befinden sich die Bauteile? Wann sind sie fertig?
9. Skalierbarkeit und Erweiterbarkeit des Produktionssystems

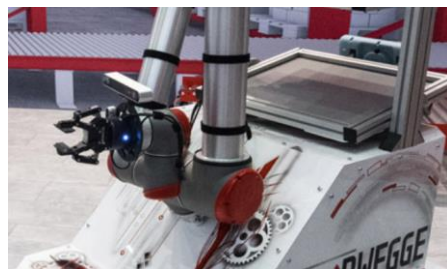
Der heutige Stand der Technik ist bei vielen mittleren Industrieunternehmen immer noch, dass die Werkzeugmaschinen mit menschlichem Bediener in Einzel- oder Mehrmaschinenbedienung 1-2 schichtig pro Tag laufen. Damit ist kaum ein mittelständisches Produktionssystem mannos oder in 7/24 einsetzbar. Aufgrund der neun skizzierten Herausforderungen bei sinkenden Losgrößen, steigender Produktvielfalt und Dynamik bezüglich Lieferterminen und Durchlaufzeiten, müssen neue Wege zu Erhöhung der Produktivität, Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit dieser Produktionssysteme beschritten werden.

Eine Lösung stellt hierbei die Automatisierung von Teilen oder des gesamten Produktionssystems dar [3]. Doch bisher profitieren eher Großunternehmen und Konzerne von der Automatisierung. Mittelständische Unternehmen hingegen setzt der technologische

Fortschritt zusätzlich unter Druck: Während sie eher in Handarbeit versuchen, der steigenden Produktvielfalt und dem verstärkten Aufkommen individueller Kundenwünsche gerecht zu werden, zieht die „große“ Konkurrenz mit ihren günstigen Massenprodukten an ihnen vorbei. Denn für die KMU ist es neben den Anschaffungskosten bereits eine Herausforderung, eine geeignete Automatisierungslösung zu finden: Welches System kann was leisten? Wie hoch ist der initiale Aufwand für die Inbetriebnahme? Wie stehen Kosten und Nutzen im Verhältnis? Wo bekomme ich überhaupt solch eine Lösung her? Fragen, auf die es heute nur für sich alleine stehende Antworten der jeweils spezialisierten Werkzeugmaschinenhersteller, Intralogistikanbieter oder Automatisierungsunternehmen gibt. Ganzheitliche Antworten fehlen oftmals und Softwareunternehmen zur intelligenten Vernetzung der Komponenten als auch die entsprechenden Manufacturing Execution Systeme (MES) zur Echtzeitsteuerung des Produktionssystems werden oft nicht mit eingezogen [13]. Zusammenfassend existieren Teillösungen, die aufwändig vom Anwender oder Integrator in das bestehende Produktionssystem eingebunden werden müssen und hierbei oft unflexibel sind. Es gibt derzeit aus Sicht der Autoren kaum schlüsselfertige, praktikable, mittelstandsgerechte und ganzheitliche Automatisierungslösung für mittelständische Industrieunternehmen. Beispielhaft seien hier zwei aktuelle Lösungen vorgestellt. Die Intralogistiker von Jungheinrich und der Maschinenhersteller DMG-Mori haben erstmals auf der Messe EMO 2019 mit PH-AGV 50 eine Lösung bestehend aus einem fahrerlosen Transportsystem (AGV) zur vollautomatischen Be- und Entladung von DMG-Werkzeugmaschine vorgestellt [10]. Auch hier ist der Fokus auf kleine und mittlere Losgrößen bei Bauteilen mit langen Laufzeiten. Zunächst soll das Transportsystem aber nur mit Werkzeugmaschinen von DMG-Mori funktionieren. Eine Einbindung der Anlagen von Drittanbietern ist aktuell nicht vorgesehen. Nun nutzen aber gerade mittlere Industrieunternehmen nicht nur Maschinen von einem Hersteller sondern je nach Aufgabenstellung und Historie ein Sammelsurium [11]. Zusammen mit einer zweijährigen Amortisationszeiten - falls die Nachtschicht automatisiert wird – ist diese Automatisierungslösung nur bedingt geeignet für mittlere Industrieunternehmen und deren skizzierten Herausforderungen.



Quelle: DMG-Mori



Quelle: Torwegge

Abbildung 3: Erste kommerzielle Lösungen von DMG-Mori und Torwegge

Eine andere Lösung ist u.a. der Intralogistikroboter ManipulaTorsten von Torwegge, welcher dieses Jahr auf der Motek erstmals vorgestellt wurde. In Kombination mit einem Roboterarm von Pilz kann er bis 6kg heben [10]. Damit eignet er sich zwar prinzipiell für das Be-/ Entladung von Werkzeugmaschinen, ist aber soft- und hardwaretechnisch beschränkt und nur eingeschränkt in die heterogenen Produktionssysteme des Mittelstandes einbindbar.

Vor diesem Hintergrund haben die Autoren eine schlüsselfertige und ganzheitliche Automatisierungslösung bestehend aus modularer und skalierbarer Automatisierungshardware in Verbindung und intelligent vernetzter Fabriksoftware entwickelt.

Zielsetzung

Ziel des gemeinsamen Vorhabens der beiden Unternehmen Lorenscheit Automatisierungstechnik GmbH sowie software4production GmbH war und ist die schlüsselfertige Automatisierung von Produktionssystemen in der mittelständischen Einzel-/ Klein- und Mittelserienfertigung. Hierzu wurde ein MES-gesteuertes Flex Load Systems zur vollautomatischen Be-/ Entladung von Werkzeugmaschinen mit Roh- und Fertigteilen, Werkzeugen sowie Spannmitteln konzipiert, realisiert und nun vertrieben. Diese Automatisierungslösung ist skalierbar, flexibel in Brownfield-Umgebungen integrierbar, kostengünstig in Anschaffung und Betrieb und somit mittelstandsgerecht. Durch eine nahtlose IT-technische Vernetzung und neue Planungs- und Steuerungsfunktionalitäten werden die eingangs skizzierten Herausforderungen von mittelständischen Industrieunternehmen nachhaltig gelöst.

Die Lorenscheit Automatisierungstechnik GmbH (LAT) mit Sitz in Dahlenburg beliefert mit 45 Mitarbeitern Industrieunternehmen mit Komponenten und Komplettlösungen rund um den Bereich der Automatisierungstechnik. Das Lösungsportfolio erstreckt sich von der Automatisierung über den Sondermaschinenbau, die Mensch-Roboter-Kollaboration bis hin zum Service. Über einen Komponentenbaukasten für Leichtbauroboterapplikationen können Kunden Ihre Automatisierungsaufgabe eigenständig konfigurieren oder Turnkey-Lösungen für Werkstückhandling, Messen/Prüfen, Reinigen, Signieren, Entgraten, Bearbeiten oder Sortieren bestellen. Die software4production GmbH (S4P) mit Sitz in München ist umfassender Problemlöser für innovative Fabriksoftware. Neben der Produktionsplanung und -steuerung in Quasi-Echtzeit realisiert die S4P MES/Industrie 4.0/KI-Lösungen zur Betriebs-/Maschinendatenerfassung sowie Intralogistiksteuerung. S4P wurde 2018 als Fabriksoftware des Jahres in der Kategorie Industrie 4.0 und 2019 in der Kategorie Manufacturing Execution Systems (MES) ausgezeichnet.

Beide Partner kombinieren hier nicht zum ersten Mal ihre Kernkompetenzen. Unter anderem wurde 2017 gemeinsam eine über OPC UA aus der Cloud über MES in Zykluszeiten <80ms gesteuerte UR-Roboterzelle für das Be- und Entladen von Brillengläsen in einer 7/24 Brillenglasfertigung in Dallas (USA) realisiert [12].

Lösung

Stand der Technik der Automatisierung ist es, dass eine Werkzeugmaschine mit der Automatisierung zur Be-/Entladung – im Folgenden Flex Load System (FS) genannt - eine Funktionseinheit bilden, aber untereinander nur rudimentär verbunden bzw. vernetzt sind. In das gesamte Produktionssystem bzw. die -umgebung mit entsprechendem Ökosystem sind diese nicht eingebunden.

Die Werkzeugmaschine wird autark durch Produktionsmitarbeiter gerüstet, NC-Bearbeitungsprogramme befinden sich auf der Maschine oder werden manuell abgerufen. Das FS wird autark gerüstet, es findet keine Kommunikation bezüglich des Bearbeitungsprogramms statt. Die Werkzeugmaschine wird durch den Einrichter in den Automatikmodus gesetzt, FS wird durch den Bediener in den Automatikmodus gesetzt. FS und Werkzeugmaschine kommunizieren nur rudimentär:

1a.) FS → Werkzeugmaschine:

- Tür auf
- Futter auf
- Futter zu

- Tür schließen
- NC-Programm Start

Ib.) Werkzeugmaschine → FS

- Tür ist auf
- Futter ist auf
- Futter ist zu
- NC-Programm-Ende

Die Werkzeugmaschine hat keinerlei Informationen, welche Stückzahl bzw. Losgröße noch ansteht. Das FS legt solange Teile in die Werkzeugmaschine ein, bis entweder die Sollstückzahl erreicht wurde oder der Roboter keine Teile mehr findet. Das FS ist entweder mit nur einer auswechselbaren Rasterplatte ausgerüstet (immer nur für eine Bearbeitung aktiv) oder es ist mit einem Stacker, einer Schleppprahmenautomation oder einem anderen Teilepuffer ausgerüstet.

Vor diesem Hintergrund wurde als Sollzustand definiert, dass ein neuartiges FS und die Werkzeugmaschine funktional weiterhin zwar eine Einheit bilden. Sie kommunizieren jedoch gar nicht mehr direkt miteinander, sondern nur über ein übergeordnetes MES-System. Das MES-System übernimmt darüber hinaus noch die Steuerung möglichst vieler oder aller Produktionsressourcen. Das MES übermittelt Rüstdaten bzw. werkstückspezifische Daten sowohl zu der Werkzeugmaschine als auch an das FS. In der Endausbaustufe bestückt das FS die Werkzeugmaschine nicht nur mit Rohteilen, sondern auch mit Spannmitteln und Werkzeugen. Sind die vorhandenen Spannmittel, Werkzeuge oder Werkstücke nicht an der Werkzeugmaschine vorhanden, werden diese durch fahrerlose Transportressourcen (AGV) an die Maschine verbracht. Nicht benötigte Arbeitsmittel werden aus der Produktionszelle ausgeschleust. So entfällt der Einrichter der Werkzeugmaschine und der Einrichter der Automation. Solch eine Zelle ist höchst flexibel von einem Leitsystem und einer zentralen Arbeitsvorbereitung bzw. Betriebsmittelbereitstellung steuerbar. Das MES ist hierbei das Mastermind bzw. der „Magic Glue“ zwischen ERP-Ebene oben und der Shopfloor-Ebene unten bzw. umliegenden Logistiksystemen.

In Abbildung 4 ist schematisch die Ausprägung des Gesamtsystems am Beispiel der Be-/Entladung einer Drehmaschine dargestellt. Das Gesamtsystems besteht aus:

- einem Flex Load System (FS) mit einem Universal Robot (UR) und zwei Dockingstationen für Racks,
- zwei MIR 200 mit Nord Modules TM150,
- zwei Nord-Modules Racks mit Schubladenmodulen,
- einem manuellen Rüstplatz mit zwei Dockingstationen für Racks,
- einem LTE/Wifi-Router für die Vernetzung aller Elemente im Produktionssystem,
- einer cloud-basierten (z.B. bei Amazon AWS) oder lokalen Installation des MES. Schnittstellen zum übergeordneten ERP-System zur Übernahme von Kunden-/Fertigungsaufträgen, Arbeitspläne oder Materialstammdaten ist vorhanden (Alternativ ist auch ein kompletter Standalonebetrieb möglich, witergehende Schnittstellen zu allen angrenzenden Systemen werden auch unterstützt),
- ein oder mehrere Handheld(s) oder Datenbrille(n) für u.a. den Einrichter sowie
- ein oder mehrere Visualisierungscockpits (z.B. mittels LCD-Monitor).

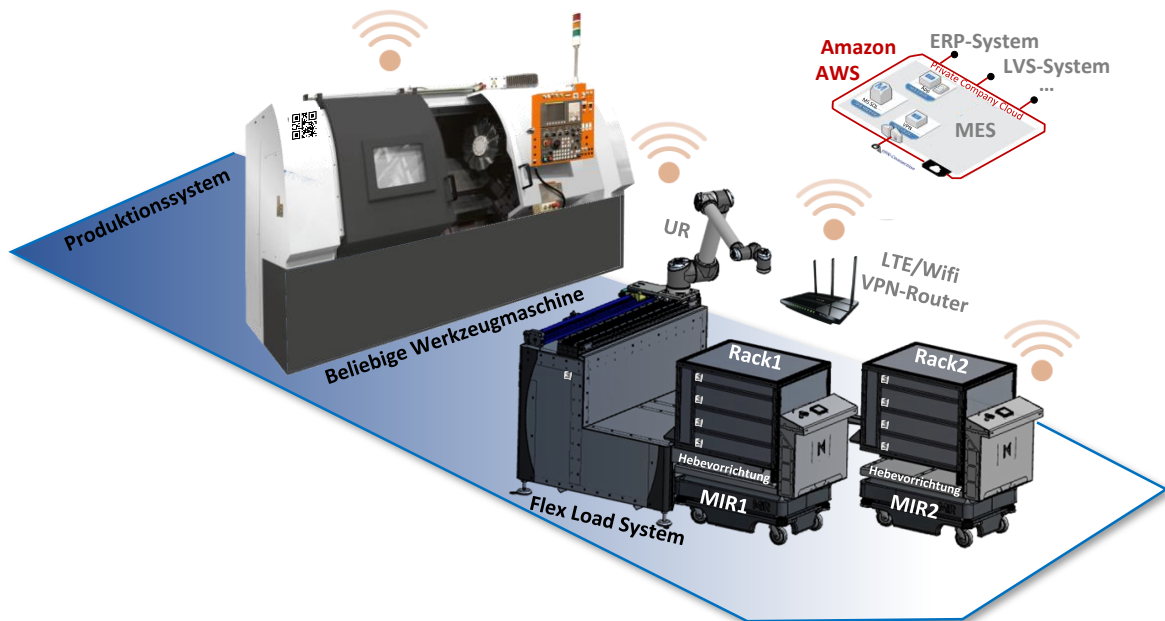


Abbildung 4: Flex Load System zur Turnkey-Automatisierung von beliebigen Werkzeugmaschinen in der mittelständischen Einzel-/ Kleinserienfertigung mittels MES-gesteuerter Be-/Entladung mit Roh-/ Fertigteilen, Werkzeugen und Spannsystemen

Die Werkzeugmaschine wird durch das FS gerüstet, nicht mehr durch den menschlichen Einrichter. Die Racks des FS werden dynamisch durch Rüstpersonal bestückt. Der Mitarbeiter verwendet hierzu z.B. ein Handheld und eine sich aufgrund der Echtzeitplanung aktualisierende Auftragsvorrats-/ Kommissionierliste. Anhand dieser bestückt er auftragsbezogen die Schubladen bzw. Positionen und bestätigt diese durch QE-Scan. Die Werkzeugmaschine befindet sich bis auf Störung immer im Automatikmodus. FS und Werkzeugmaschine kommunizieren nur über das MES und MES gibt über OPC UA, REST oder Hardware I/O-Ausgangssignale entsprechende Befehle wie Tür auf, Futter auf, Futter zu, Tür schließen oder NC-Programm Start:

Ia.) MES → FS (OPC UA)

- OPEN-RACK: Syntax: "Racknummer"
- CLOSE-RACK: Syntax: "Racknummer"
- PICK: Syntax: "Racknummer, Schubladenummer, Positionsnummer"
- PLACE: Syntax: "Racknummer, Schubladenummer, Positionsnummer"
- CLEAR-MOVEIN: entspricht Maschine_ist_frei, Syntax: "Maschinenummer"
- CLAMP-OPENED: entspricht Futter_ist_zu = FALSE, Syntax: "Maschinenummer"
- CLAMP-CLOSED: entspricht Futter_ist_geschlossen = TRUE, Syntax: "Maschinenummer"
- ...

Ib.) FS → MES (OPC UA)

- STATUS-ROBOT: AN/AUS, Betriebsbereit, Rüsten, Betrieb, Störung etc.
- ERRORS-ROBOT: vom Roboter
- STATUS-RACK: Syntax: "Racknummer, verfügbar (1) / nicht verfügbar (0)"
- STATUS-DRAWER: Syntax: "Schubladenummer, offen (1) / zu (0)"
- OPEN-CLAMP: entspricht Futter_öffnen, Syntax: "Maschinenummer"
- CLOSE-CLAMP: entspricht Futter_geschlossen, Syntax: "Maschinenummer"

- CLEAR-MOVEOUT: entspricht RoboterRaus = true, Syntax: "Maschinenummer". Danach CLEAR-MOVEIN löschen, Maschine Tür zu, Tür verriegeln, NC-Programm laden, NC-Programmstart
- ACK: Bestätigung für Befehl, z.B. "CLEAR-MOVEIN Maschinenummer", "MOVE-HOME" usw.
- ...

IIa.) Werkzeugmaschine → MES (OPC UA, Hardware I/O oder Softwarekonnektoren)

- Tür ist auf
- Tür ist entriegelt
- Futter ist auf
- Futter ist zu
- NC-Programm geladen
- NC-Programm gestartet
- NC-Programm beendet
- ...

IIb.) MES → Werkzeugmaschine (OPC UA, Hardware I/O oder Softwarekonnektoren)

- Tür auf
- Futter auf
- Futter zu
- Tür schließen
- NC-Programm Laden
- NC-Programm Start
- ...

IIIa.) MIR → MES (REST)

- MISSION-Ended: Erfolgreiches Ende der Mission
- READ-LIFTUP: über digitale I/O auf dem MIR
- READ-LIFTDOWN: über digitale I/O auf dem MIR
- STATUS
- BATTERYLEVEL
- ...

IIIb.) MES → MIR(REST)

- MISSION_X: Mission mit Koordinaten wohin gefahren werden soll
- SET-LIFTUP: über digitale I/O. Kann nur gesetzt werden, wenn Status !=Pause (Stakeid !=4)
- SET-LIFDOWN: über digitale I/O. Kann nur gesetzt werden, wenn Status !=Pause (Stakeid !=4)
- ...

Die komplette Kommunikation erfolgt über Wifi oder Ethernet mit dem gelieferten IoT-Router. Im Fall des Cloudbetriebs kommuniziert dieser abgesichert über VPN mit der Amazon AWS MES-Installation über Internet- oder LTE-Verbindung. Eine Hochverfügbarkeit der Gesamtlösung kann durch Server- und Datenbankreplikation zum lokalen Produktionssystem sichergestellt werden [13, 14]. Das MES-System verwendet die Multiressourcenplanung von S4P als Planungsdienst und verplant alle 30 Sekunden rückstandsfrei und vorwärtsterminiert (konfigurierbar) die Kunden-, Fertigungs-, Kommissionier-, Transport-, Lager- und Inventuraufträge in Quasi-Echtzeit. Auf Basis der sich hieraus ergebenden Kommissionier-

AVT-Listen hat der Intralogistiker den Überblick über Racks und aktuelle Belegung bzw. Bestände. Entladene Racks werden chaotisch wieder aufgefüllt mit Rohteilen, Werkzeugen und Spannmitteln anhand der Kommissionier-AVT-Listen. Mit der abschließenden Buchung eines Racks als bereit erfolgt die Ansteuerung des MIR-Serviceroboters zur Abholung. Da auch Transportaufträge und Missionen in Echtzeit geplant werden können dynamischen Änderungen (z.B. Dockingstation belegt, Maschine in Störung etc.) dynamisch berücksichtigt werden. Der MIR liefert nun das Rack an einer der beiden Dockingstationen des Flex Load Systems ab und erhält den Befehl zur Ablage des Racks. Danach steuert das MES den UR an und sagt dem UR über OPC UA, welches Rack, welche Schublade bzw. welche Position zu entladen ist. Die Identifikation erfolgt hierbei über QR (RFID auch möglich). Gleichzeitig erhält die Werkzeugmaschine die notwendigen Befehle zum Öffnen von Tür und Spannsystem wenn es sich um ein Rohteil auf der entsprechenden Position handelt. Da dem MES durch das manuelle Kommissionieren jede Position bekannt ist, kann auch das mit dem Bauteil bzw. Arbeitsgang verknüpfte NC-Programm an die Maschine über Ethernet oder RS232 gesendet werden. Die weitergehende Bearbeitung erfolgt entsprechend und nach NC-Programmstopp die entsprechende Entladung des Fertigteils auf eine frei Position in einer Schublade eines Racks. Da das MES ja u.a. Folgearbeitsgänge, Prioritäten und Maschinenzustände von weitergehenden Bearbeitungsschritten kennt, können hier entsprechende Optimierungen in der Belegung stattfinden. So kann es sein, dass Racks vorzeitig und nicht vollbeladen abgeschlossen werden, damit der MIR diese wieder zum Rüstplatz oder zum Flex Load System des Folgeprozesses transportieren kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend handelt es sich bei diesem Ansatz um eine flexible, skalierbare und individualisierbare Vollautomatisierung der Be- und Entladung von Werkzeugmaschinen. Das Grundkonzept ist auf die spezifischen Gegebenheiten eines mittelständischen Unternehmens adaptierbar. Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Thomas Lorenscheit: „Ein typischer mittelständischer Drehteileproduzent beschafft eine Drehmaschine und der Maschinenbediener übernimmt alle notwendigen Tätigkeiten wie Rüsten, Einlegen, Messen und Wartung. Durch Fachkräftemangel sowie die reine Personalverfügbarkeit können Betriebe oft nur 1-2 schichtig produzieren und verlieren so Umsatz. Durch das gemeinsam mit S4P realisierte Flex Load System (FS) werden Werkzeugmaschinen mittels vollautomatisierten Be-/ Entladesystem zentral über das MES in Echtzeit gesteuert. Das ist komplett neu in unserer Automatisierungsbranche, wo man meist immer noch lokale SPS/PLC-Lösungen verfolgt. Dadurch gewinnt der Produktionsmitarbeiter anteilig Zeit. In der Klein- und Mittelserienfertigung kann dies 20-80% betragen und 0,5-4 Mitarbeiter pro Schicht ausmachen. Dies rechnet man mit den Personalkosten, der Schichtbelegung und mannlosen „Geisterschichten“ gegen. Durch Echtzeitinformationen und entsprechenden Reaktionen als auch geringeren Aufwänden zur Fertigungssteuerung sind Kosteneinsparungen von bis zu 500.000 EUR/Jahr und damit ein ROI unter einem Jahr realistisch“.

Das Flex Load System wird auf der Nortec in Hamburg vom 20.-24. Januar 2020 mit einer Kaast Drehmaschine und der vollautomatisierten Be- und Entladung mit Roh-/ Fertigteilen live demonstriert. Auf der Hannovermesse HNI vom 20. bis 24. April 2020 erfolgt auf 50m² der Realbetrieb mit verschiedenen Robotern und der vollautomatischen Be-/ Entladung mit Roh- und Fertigteilen, Werkzeugen sowie Spannmitteln in der Endausbaustufe.

Literatur

- [1] Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM Bonn, 2005): KMU-Definition des IfM Bonn, <<https://www.ifm-bonn.org/definitionen/kmu-definition-des-ifm-bonn/>>
- [2] Vogt, U.: Qualitätsmanagement : Begriffe und Definitionen, 2016, S. 118
- [3] Kummer, S., Grün, O., Jammerneegg, W.: Grundzüge Produktion, 2019, S. 52.
- [4] Corsten, H., Gössinger, R.: Produktionswirtschaft, 2016, S. 2-3.
- [5] Schmidt, C., Schuh, G.: Grundlagen Produktionsmanagement, 2014, S. 3-4
- [6] Zäpfel, G.: Taktische Produktion, 2000, S. 1-2.
- [7] Schmidt, C., Schuh, G.: Grundlagen Produktionsmanagement, 2014, S. 4
- [8] Kurbel, K.: PPS – Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen, 2003
- [9] Manager Magazin (2019): VW will Vorreiter bei CO2-freier Autoproduktion werden. <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/klimaschutz-vw-versucht-sich-als-vorreiter-bei-co2-freier-autoproduktion-a-1253830.html>
- [10] VDI nachrichten: Maschinenballett mit Hirn (18.10.2019) 42, S. 14
- [11] Reinhart, G.; Graßl, M.; Greitemann, J.: Energieeffizienz in der Produktion Untersuchungen zur Forschungs- und Entwicklungslandschaft Bayerns München 2012
- [12] Berlak, J.: INDUSTRY 4.0/ AMP 2.0: What is it all about and how Labs can profit, in: Mafo, Jg. 2017, Nr. 13, S. 10-18, Mediawelt GmbH, Ratingen, ISSN: 1614159866527
- [13] Berlak, J. (2019): Konzeption, Realisierung und Validierung eines cloud-basierten Service zur eventbasierten Produktionsplanung und –steuerung, in: Russack,T.; Jerrentrup, R. (Hrsg.), Ausgewählte Verfahren zur Optimierung des Ressourceneinsatzes und Flexibilisierung in der Fertigung, 1. Aufl., S. 6-29, MA Akademie Verlagsund Druck-Gesellschaft mbH, Essen, ISBN: 978-3-89275-091-8, ISSN: 2628-8184
- [14] Berlak, J.; Berg, J., Stangl, M., Baumgart, L.: Real-Time IoT-Based Production Planning and Control of Industrial Robots in an Automated Cyber-Physical Production System under Dynamic Conditions: Lessons Learned from a Make-To-Order Usage Case. Proceedings of EUROCAST2019 (to be published).