

Flexibilisierung von Automatisierungssystemen

Systematisierung der Flexibilitätsanforderungen von Industrie 4.0

M. Weyrich, I. Wior, D. Bchennati, A. Fay

Die Umsetzung flexibler und rekonfigurierbarer Produktionssysteme ist einer der Eckpfeiler von Industrie 4.0. Um Deutschland zügig zum geplanten Leitmarkt für Industrie 4.0 zu entwickeln, müssen vorhandene Produktionssysteme nachträglich weiter flexibilisiert werden. Im Fachbeitrag wird dafür ein methodisches Vorgehen skizziert und untersucht, wie Flexibilität in Schritten, das heißt durch Teilflexibilisierung bewirkt werden kann.

More flexibility for automated manufacturing systems Systematization of requirements of flexibility towards Industrie 4.0

Flexible and re-configurable manufacturing systems are corner stones of Integrated Industry – Industrie 4.0. Existing production systems need to become more flexible, in order to develop Germany to a leading market of Industrie 4.0. This paper sketches a stepwise method which helps to analyze existing systems and enhance them towards more flexibility.

1 Einleitung

Flexibilität und Wandlungsfähigkeit sind Kernanforderungen an heutige Produktionssysteme. Der „Aufbau und die Realisierung flexibler und rekonfigurierbarer Produktionssysteme innerhalb eines Unternehmens“ ist einer der Eckpfeiler von Industrie 4.0 [1]. Ob ein Produktionssystem wandlungsfähig, flexibel oder starr ist, entscheidet zunehmend über die Konkurrenzfähigkeit des Unternehmens. Der Veränderungsfähigkeit von Produktionsunternehmen kommt eine große Bedeutung zu. So ist es ein wichtiges Ziel, Produktionsanlagen schnell und effizient im Sinne neuer Anforderungen zu rekonfigurieren beziehungsweise umzurüsten.

In den letzten Jahren ist auf dem Gebiet der flexiblen und wandlungsfähigen Produktionssysteme intensive Forschung geleistet worden. Dabei wurden Untersuchungen zur Wandlungsfähigkeit angestellt, das heißt zu vorgedachten Freiräumen in der Konfiguration von Produktionssystemen, die auf Veränderungen aufgrund eines turbulenten Unternehmensumfeldes und den sich ergebenden Veränderungsdruck reagieren können. Die wissenschaftliche Befassung mit der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen hat Konzepte entwickelt, die sie für zukünftige veränderte oder ganz neue Anforderungen wappnen [2–7]. Auch der Flexibilität im Sinne einer vordefinierten Anpassungsfähigkeit an sich geänderte Einflussfaktoren kommt bereits seit Jahren Aufmerksamkeit zu [6].

Ein großer Teil der heute in Deutschland eingesetzten Produktionssysteme ist jedoch ohne ausreichende Berücksichtigung dieser Forschungserkenntnisse gestaltet worden. Um Deutschland zügig zum geplanten „Leitmarkt für Industrie 4.0“ zu entwickeln [1], müssen vorhandene Produktionssysteme nachträglich weiter flexibilisiert werden [8].

Die Flexibilisierung von Produktionssystemen erfolgt in den Unternehmen heute sehr individuell: Anlassbezogen werden die veränderten Anforderungen (zum Beispiel neue Produktvarianten, Ausweitung der Produktpalette, veränderte Herstellungsprozeduren) mit den technischen Möglichkeiten der vorhandenen Maschinen und Anlagen abgeglichen, und es wird versucht, durch Änderungen der Mechanik, der Elektrik und/oder der Software, durch Austausch, Modifikation, Umkonfiguration oder Ergänzung einzelner funktionserbringender Elemente die gewünschte Anpassung vorzunehmen. Meist wird dadurch kein grundsätzlich flexibleres Produktionssystem erreicht, sondern nur ein ebenso unflexibles System wie vorher, das jetzt für die aktuellen Anforderungen geeignet ist. Bei einer erneuten Änderung der Anforderungen muss dieser Weg erneut beschritten werden. Das Unternehmen reagiert dabei oft unter Zeitdruck auf veränderte Anforderungen. Bei Flexibilisierungsmaßnahmen an Anlagen im Betrieb müssen also jeweils umfassende Anpassentwicklungen erfolgen. Dies bindet Fachkräfte, kostet Zeit und birgt Risiken. Stattdessen sollten Veränderungen am Gesamtsystem vorausschauend betrachtet werden und systematisch geplant sein, damit sie mit vertretbarem Zeit- und Kosten-Aufwand umsetzbar sind.

Benötigt wird daher ein Flexibilisierungskonzept, anhand dessen beurteilt werden kann, welche Flexibilisierungen bei einem gegebenen System sinnvoll umgesetzt werden können und wie dabei vorgegangen werden muss. Dabei werden Systematiken benötigt, die analysieren, welche Änderungen bei verschiedenen Konfigurationszuständen erforderlich und wünschenswert oder denkbar wären.

Da die Flexibilisierung in aller Regel mit Mehraufwendungen verbunden ist [9], müssen ihre Maßnahmen möglichst effizient umsetzbar sein. Hierbei sind Entwurfsmuster hilfreich, die auf geeignetem Abstraktionsgrad Flexibilisierungslösungen vorschlagen. Entwurfsmuster stammen ursprünglich aus dem Software Engineering und werden in letzter Zeit zunehmend im Engineering von Automatisierungssoftware eingesetzt (siehe etwa [10]). Sie müssen aber erweitert werden, da die Flexibilisierung von Produktionsmaschinen Veränderungen an Soft- und Hardware erfordert. Damit geht dies auch über die aktuellen, aus dem Bereich des Software Engineering motivierten Forschungsarbeiten zur Software-Evolution in Produktionsmaschinen (siehe beispielsweise [11]) hinaus.

Die Flexibilität kann aufgrund der Mannigfaltigkeit von Produktionssystemen sowie der vielen zu beachtenden Aspekte nicht mit einer einzigen Kennzahl erfasst beziehungsweise angegeben werden. Daher wird Flexibilität in Teilflexibilitäten unterteilt, die jeweils einen Aspekt der Flexibilität betrachten. In der Literatur werden verschiedene Teilflexibilitäten definiert und beschrieben. In Kapitel 2 dieses Beitrags werden Klassifikationen von Teilflexibilitäten vergleichend dargestellt. Die zusammenfassende Darstellung ermöglicht es Produktionsunternehmen, entsprechend der an sie gestellten Anforderungen zu ermitteln, welche Teilflexibilitäten geschaffen beziehungsweise erhöht werden müssen. Dies ist die Basis für zielgerichtete Flexibilisierungsmaßnahmen in den Produktionssystemen, siehe Kapitel 3. In Kapitel 4 werden mögliche Flexibilisierungsmaßnahmen am Beispiel einer Prü fzelle exemplarisch dargestellt. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick auf Forschungsbedarf hinsichtlich der Erhöhung der Flexibilität von heute bereits installierten Produktionssystemen.

2 Welche Flexibilität wird benötigt?

Zur Rekonfiguration beziehungsweise Anpassung von Anlagen werden Teilflexibilitäten entwickelt, die sich jeweils auf einzelne flexible Aspekte beziehen. Diese Teilflexibilitäten betrachten das Produktionssystem aus verschiedenen Blickwinkeln und versuchen, einzelne Bereiche mit ihrer individuellen Flexibilität zu beschreiben, um so die wesentlichen Aspekte und Ausprägungen aus Nutzersicht hervorzuheben.

So muss die Klassifikation von Teilflexibilitäten die Bedeutung ermitteln, welche Flexibilitäten geschaffen beziehungsweise erhöht werden müssen. Diese können dann die Basis für zielgerichtete Entwicklungsmaßnahmen an Produktionssystemen bilden.

Die REFA hat schon vor Jahren eine eigene Klassifikation von Teilflexibilitäten erarbeitet. Dabei werden diese nach ihrem Betrachtungshorizont kategorisiert [4]: Produktflexibilität, Fertigungsredundanz und Mengenflexibilität werden als kurzfristig kategorisiert, Anpassflexibilität und Erweiterungsflexibilität als langfristig betrachtet.

Beispielsweise müssen kurzfristig unterschiedliche Produktvarianten gefertigt werden, die sich nur geringfügig unterscheiden, beziehungsweise die Stückzahlen im Sinne einer ausgebrachten Menge soll moderat angepasst werden. Anpassungen auf völlig neuartige Produkte beziehungsweise eine Erweiterung mit Blick auf einen kompletten Umbau der Produktion selten und sind daher langfristig.

Tempelmeier und Kuhn [12] erstellen acht Untergruppen der Flexibilität und differenzieren diese nach Maschine, Materialflusstechnik, Produkt und System des Produktionssystems.

Die Autoren Browne et al. [3] unterteilen die Flexibilität in unterschiedliche Teilflexibilitäten, die sie Kategorien zuordnen: Zur Kategorie „Komponenten-/Basisflexibilitäten“ gehören demnach die Maschinenflexibilität und die Arbeitsplanflexibilität, zu den „Systemflexibilitäten“ die Prozessflexibilität, die Prozessfolgeflexibilität, die Produktmixflexibilität, die Mengenflexibilität und die Erweiterungsflexibilität. Die Produktionsflexibilität wird als „Aggregierte Flexibilität“ kategorisiert. Sethi und Sethi [5] erweitern die Klassifikation von Browne et al. um die zusätzliche Basisflexibilität Materialflussflexibilität, sowie um die zusätzlichen aggregierten Teilflexibilitäten Programmflexibilität und Marktflexibilität. Eine Übersicht der Kategorisierung von Flexibilitäten ist in **Bild 1** gezeigt [3, 5, 12].

Somit werden die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit eines automatischen Produktionssystems nicht nur durch die Maschinen und ihre Komponenten, sondern vielmehr durch das Produkt, die Materialflusstechnik sowie das gesamte Produktionssystem bestimmt.

Eine systematische Analyse der veränderten Anforderungen an Produktionssysteme ermöglicht Unternehmen, gezielt die benötigten Teilflexibilitäten zu identifizieren.

	Tempelmeier und kuhn [TeKu93]	REFA [REFA90]	Sethi und Sethi [SeSe90]	Browne, Stecke, Dubois, Sethi und Rathmill [BSD+83]	Barad und Sipper [BaSi88]	Kategorisierung nach dem Zeithorizont	Kategorisierung nach Komponenten
Teilflexibilität							
Maschinenflexibilität	x	-	x	x	x	kurz-/mittelfristig	Maschine
Materialflussflexibilität	x	-	x	-	-	kurz-/mittelfristig	Materialflusstechnik
Arbeitsplanflexibilität	x	-	x	x	x	kurz-/mittelfristig	Produkt
Prozessflexibilität	x ¹	x ²	x	x	x	kurz-/mittelfristig	System
Prozessfolgeflexibilität	x ³	x ⁴	x	x	x	kurz-/mittelfristig	System
Produktmixflexibilität	x ⁵	x ⁶	x	x	x	langfristig	System
Mengenflexibilität	x ⁷	x	x	x	x	kurz-/mittelfristig	System
Erweiterungsflexibilität	x ⁸	x	x	x	x	langfristig	System
Produktionsflexibilität	-	-	x	x	x	langfristig	System
Programmflexibilität	-	-	x	-	-	langfristig	System
Marktflexibilität	-	-	x	-	-	langfristig	System
Transferflexibilität	-	-	-	-	x	kurz-/mittelfristig	System
Abweichende Bezeichnungen:							
1 Produktmixflexibilität							
2 Produktflexibilität							
3 Durchlaufflexibilität							
4 Fertigungsredundanz							
5 Produktmixmixänderungsflexibilität							
6 Anpassflexibilität							
7 Produktionsmengenänderungsflexibilität							
8 Systemänderungsflexibilität							

Bild 1. Kategorisierung unterschiedlicher Flexibilitäten: Aggregation der Klassifikation von [3, 5, 12]

3 Wie wird Flexibilität erreicht?

Flexibilität und Wandlungsfähigkeit wird durch Vorhalten von Korridoren oder Vordenken von Freiraum erzeugt, die beispielsweise mithilfe von autonomen und standardisierten Automatisierungseinheiten erreicht werden können.

Ein Produktionssystem durchläuft während seines Lebenszyklus oft unterschiedliche Flexibilitätsbeziehungswise Wandlungszustände, für die das Automatisierungssystem unterschiedlich konfiguriert wird.

Diese Zustände hängen dabei sowohl von den veränderten Rand- oder Umweltbedingungen wie neue Produkte, höherer Durchsatz, andere Umgebungsbedingungen ab, als auch von den verschiedenen Komponenteneigenschaften und Systemstrukturen des automatisierten Systems.

Heute erfolgt die Umsetzung von solchen Entwicklungsmaßnahmen bei bestehenden Automatisierungssystemen die flexibilisiert werden üblicherweise durch die Änderung in der

Automatisierungssoftware oder durch den kompletten Austausch von einzelnen Software- und Hardware-Komponenten.

Um ein Automatisierungssystem von einem Flexibilitätsbeziehungsweise Wandlungszustand in einen anderen zu überführen, werden geeignete Entwicklungsmaßnahmen benötigt. In **Bild 2** sind beispielhaft verschiedene Zustände

aufgezeigt.

Diese Zustände und zugehörige Entwicklungsmaßnahmen werden in einem Flexibilisierungskonzept vereinigt, um mögliche Wandlungen im Betrieb einfach durchzuführen zu können.

Hierzu werden die einzelnen Flexibilisierungs- beziehungsweise Wandlungszustände mit Blick auf die jeweiligen Eigenschaften der Komponenten beziehungsweise des Automatisierungssystems analysiert. Entwicklungsmaßnahmen hin zu anderen Zuständen werden betrachtet und in Bezug auf die notwendigen Entwicklungen technologisch und wirtschaftlich bewertet. Auch kann es unterschiedliche Methoden beziehungsweise technologische Ansätze zur Realisierung geben, um von einem Flexibilitätszustand in einen anderen zu gelangen. **Bild 3** zeigt ein Beispiel für die Änderung des Flexibilisierungszustandes und zugehörige Entwicklungsmaßnahmen.

Mit einem Flexibilisierungskonzept wird es möglich, zu bestimmen, welche Potentiale bei einem Automatisierungssystem mit Blick auf andere Zustände gegeben sind und wie ein Automatisierungssystem um spezifische Teilflexibilitäten erweitert werden kann. Klar wird auch, mit welcher Aneinanderreihung von Entwicklungsmaßnahmen ein bestimmter Systemzustand erreicht werden kann.

Ausgehend von unterschiedlichen Anforderungen werden Systemfunktionen und zugehörige Testfälle definiert, um dann die physikalische Struktur des Systems, der Maschinen, der Komponenten sowie des Materialflusses zu definieren. Als Resultat dieses Engineerings ergeben sich eine Reihe von Optionen, aus denen unterschiedliche Systemvarianten konfiguriert werden können. Dabei werden auch heute schon Anforderungen an die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit berücksichtigt. Allerdings gibt es mit Blick auf die Automatisierungstechnik heute noch keine Richtlinien, wie die unterschiedlichen Aspekte in das Entwicklungsmodell aufgenommen werden sollen. Im Sinne der oben zusammengestellten Teilflexibilitäten können diese in Form von Anforderungen an das Automatisierungssystem festgehalten werden. Aus Sicht des Produktionstechnikers lassen sich Systemanforderungen an die Maschinen und die Basisflexibilität, die Arbeitsplanflexibilität, die Systemflexibilität und die Materialflussflexibilität im Sinne von Systemfunktionen des Automatisierungssystems definieren.

Mit Blick auf Anforderungsmanagement bedeutet dies, dass der Aspekt der Skalierbarkeit, das heißt, der technischen Erweiterbarkeit des Systems, sowie der Modularität, im Sinne der Verwendung standardisierter und funktionsfähiger Einheiten, beachtet werden sollte.

Die Anforderungen an die Flexibilisierung werden dann in Entwicklungsmaßnahmen überführt, die mit Blick auf die gewonnene Flexibilität systematisch bewertet werden müssen.

Dabei sind die Entwicklungen vor dem Hintergrund folgender Themen und Leitfragen zu bewerten:

- Nutzen des Flexibilisierungsschrittes (Wie weit wird die Flexibilität erhöht?)
- Reichweite des Flexibilisierungsschrittes bei der Umsetzung einer Eigenschaft (Welche Bestandteile des Automatisierungssystems sind betroffen?)
- Aufwand der Umsetzung (Wie viel Geld, Zeit kostet die Umsetzung?)
- Risiko der Umsetzung (Werden beispielsweise bekannte Technologien genutzt oder sind externe Experten notwendig?)
- Zeitpunkt und Dauer der Umsetzung (Wann kann die Umsetzung durchgeführt werden, kann sie zum Beispiel während einer Prozesspause erfolgen oder ist eine (Teil-) -Abschaltung notwendig? Wie lange wird diese dauern?)

Vor dem Hintergrund der Entwicklungsmaßnahmen ist auch der Nutzen völlig neuer Produktions- und Automatisierungskonzepte zu bewerten.

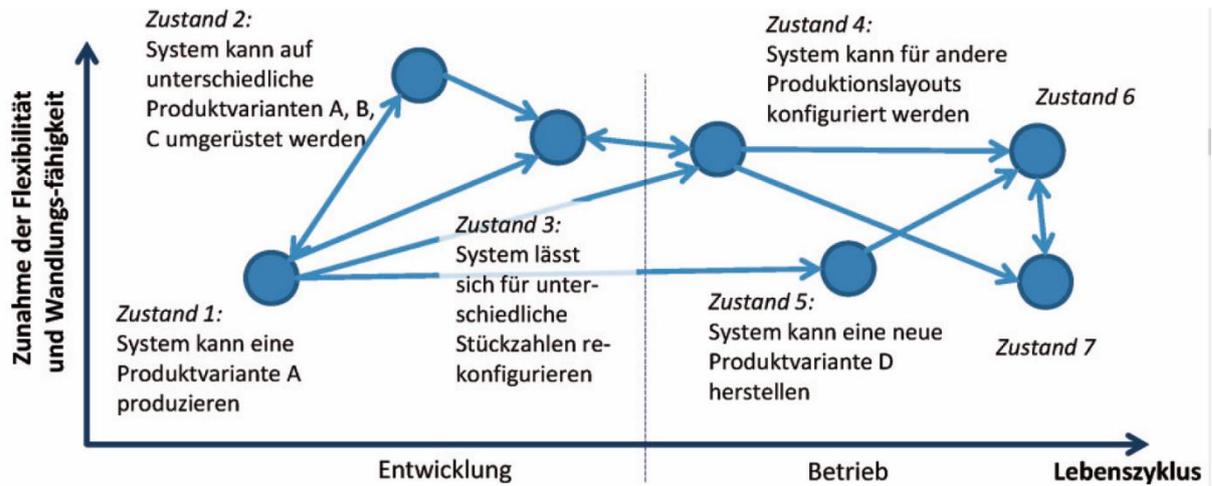


Bild 2. Beispiel für Flexibilitäts- beziehungsweise Wandlungszustände

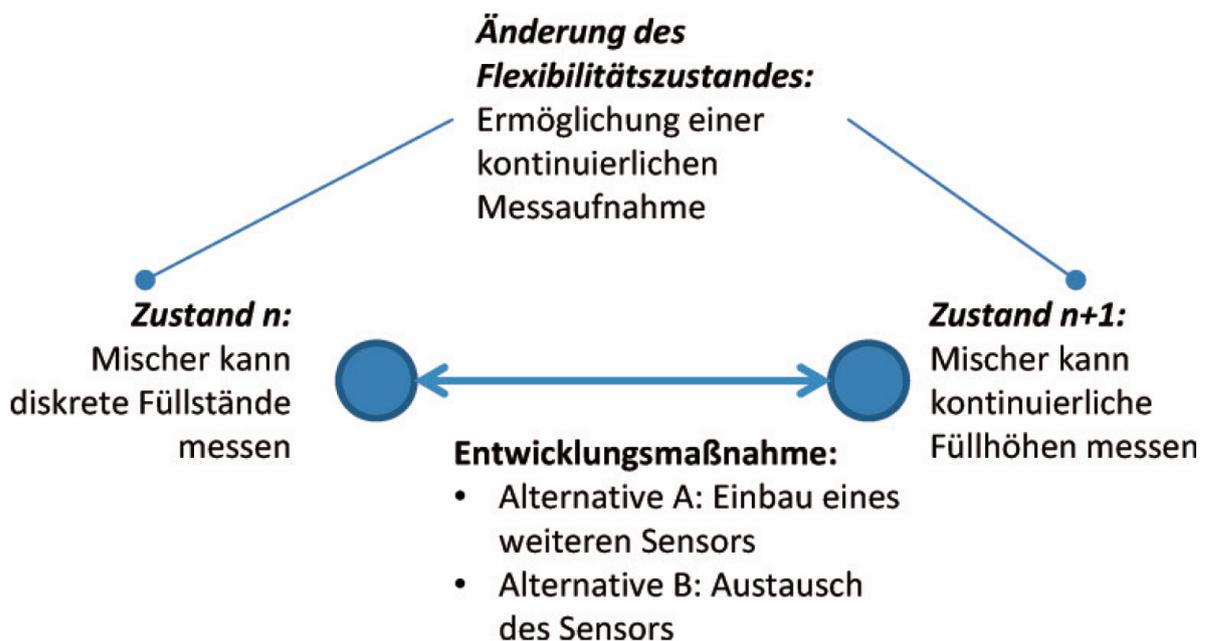


Bild 3. Beispiel für eine Änderung des Flexibilisierungszustandes

4 Beispiel für die Flexibilisierung im Hinblick auf verschiedene Teilflexibilitäten

Am Beispiel eines Prüfautomaten wird die Systematik exemplarisch dargestellt. Der Prüfautomat dient zur vollautomatisierten, mechanischen und elektrischen Prüfung von Geschirrspüler-Verschlüssen. In **Bild 4** ist die Stufe 1 des Prüfautomaten mit der Funktion Vereinzelung und Umsetzung abgebildet.

Die Ausgangssituation ist, dass der Prüfautomat nur eine Prüfteilvariante prüfen kann, die exakt die geometrischen und mechanischen Eigenschaften dieses Prüfteils aufweist. Er kann das Prüfteil nur auf wenige festgelegte Kriterien hin prüfen und nur mit einem festen Durchsatz von Prüfteilen pro Zeiteinheit arbeiten: Dies wird durch den Antrieb des zentralen Rundschalttisches (**Bild 5**) determiniert. Sollten sich geforderte Stückzahl, Material, Produktdesign oder Prüfkriterien ändern, kann der Prüfautomat künftig in dieser Form nicht mehr eingesetzt werden.

Die **Tabelle** zeigt exemplarisch, wie hinsichtlich verschiedener Teilflexibilitäten durch geeignete Änderungsmaßnahmen jeweils eine Flexibilisierung erreicht werden kann.

Die so strukturierten Flexibilisierungsanforderungen und Entwicklungsmaßnahmen bilden eine systematische Aufstellung, die zudem mit Blick auf Nutzen, Reichweite, Risiko und Zeitpunkt bewertbar ist.

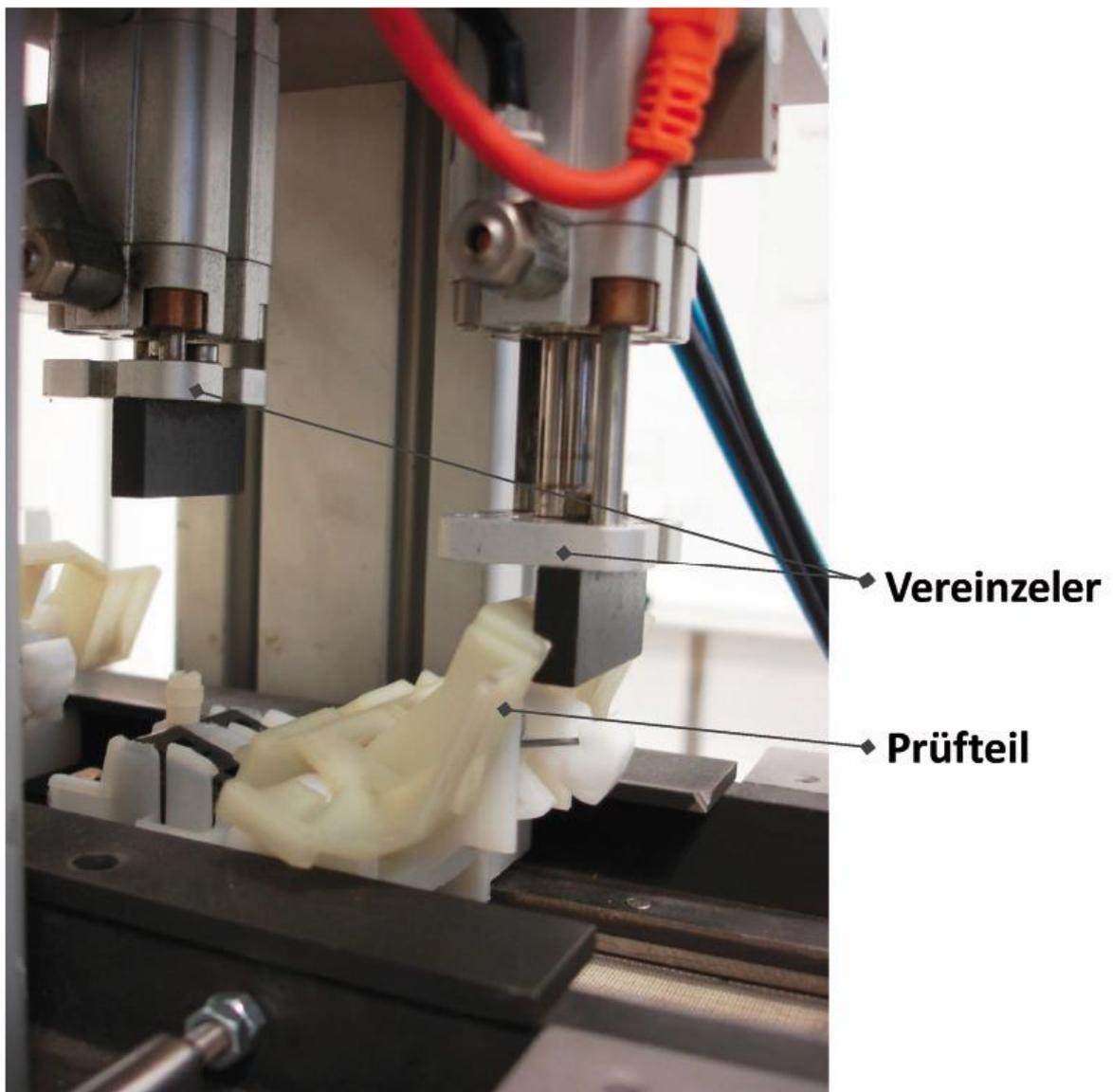


Bild 4. Beispiel eines Prüfautomaten

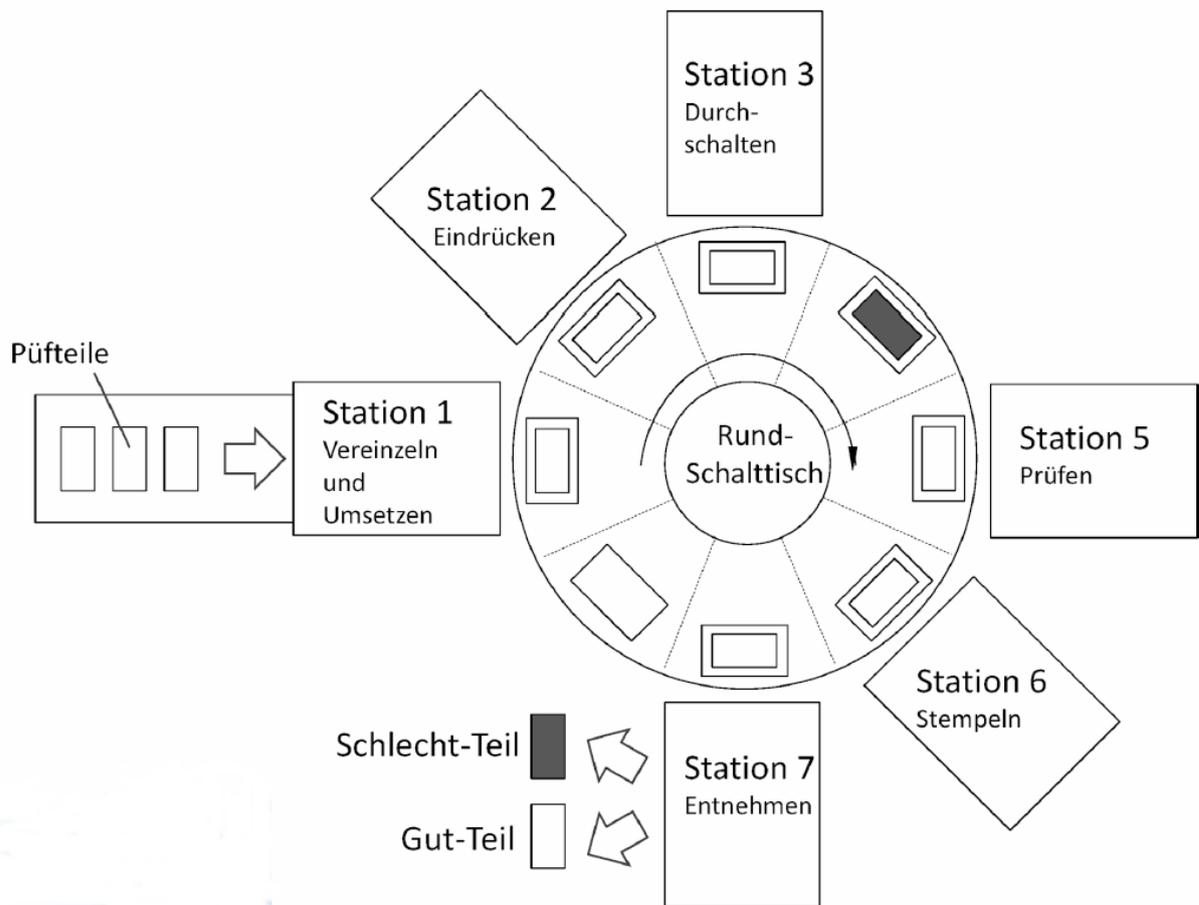


Bild 5. Gesamtübersicht des Prüfautomaten

Tabelle. Beispiele für die Teilflexibilisierung eines automatisierten Produktionssystems (hier: Prüfautomat)

Hinsichtlich welcher Teilflexibilität soll Flexibilisierung erreicht werden?	Was ist die heutige Situation?	Was ist konkret die geänderte Anforderung?	Was sind geeignete Flexibilisierungsmaßnahmen?
Produktmixflexibilität (kleine Variation der Produkte, z.B. Geometrie)	Prüfstationen geometrisch starr (siehe z.B. Abbildung 5)	Verschieden hohe Prüfteile (= neue Produktvarianten) prüfen können	Im Beispiel von Abbildung 5: vertikalen Pneumatikzylinder mit Endlagenschaltern befähigen, verschiedene Höhen variantenspezifisch anzufahren
Produktmixflexibilität (größere Variation der Produkte, die zusätzliche/andere Prüfungen erfordern)	Einzelne Prüfstationen sind mechanisch gleichartig aufgebaut, aber steuerungstechnisch fest integriert	Ermöglichung, Einheiten hinzuzufügen, zu entfernen oder auszutauschen	Änderung von Elektrik und Software: Standardisierung der Steuerungs-Schnittstellen von Prüfstationen
Prozessfolgeflexibilität	Starrer Ablauf der Prüfschritte, auch wenn Prüfteil fehlt / fehlerhaft.	In der Reihenfolge der Ausführung von Prüfschritten auf Ausfälle und Fehler mit Ablaufänderungen reagieren	Reine Software-Änderung: mit nicht belegten bzw. mit fehlerhaften Prüfteilen belegte Drehtischplätze werden von nachfolgenden Stationen nicht weiter betrachtet
Maschinenflexibilität	Prüfung wird nicht dokumentiert	Qualitätsgrößen registrieren und dokumentieren	Änderung von Hardware und Software: mechanischen Kraftverlauf beim Betätigen des Prüfdorns mit Sensor messen und Steuerung zuführen
Arbeitsplanflexibilität	Prüfung mit stets gleicher Betätigungskraft	Änderung der Anpresskraft aufgrund veränderter Normung	Änderung von Hardware und Software: Ersatz eines Druckluft-Aktors gegen einen geregelten elektrischen Antrieb

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Forschung, wie Maschinen von vornherein wandlungsfähig entworfen werden können, muss jetzt ergänzt werden um Forschung, wie derzeit im industriellen Einsatz befindliche Produktionsmaschinen systematisch für die Mitwirkung und Nutzung in Industrie 4.0 befähigt werden können.

Die Autoren beabsichtigen, aufbauend auf bereits durchgeführten Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet, diese möglichen Maßnahmen in weiterer gemeinsamer Forschung zu systematisieren und zu generalisieren und damit Empfehlungen zu entwickeln, wie Unternehmen ihre Produktionssysteme systematisch und nachhaltig (also nicht sich „von Änderung zu Änderung hangelnd“) flexibilisieren und damit auch für die Anforderungen von Industrie 4.0 ertüchtigen können.

In diesem Beitrag wurde die heute oft diffuse Anforderung nach „mehr Flexibilität“ systematisch auf „Teilflexibilitäten“ heruntergebrochen. Für die Erhöhung der Teilflexibilitäten kommen – je nach Automatisierungsgrad – unterschiedliche Maßnahmen in Frage. Am Beispiel eines Prüfautomaten wurden die Teilflexibilitäten und Entwicklungsmaßnahmen aufgezeigt. Die hier vorgestellte Systematik dient somit zur Bewertung der Flexibilisierung von vorhandenen Maschinen.

Zukünftige Forschungen sollen sich mit Fragen befassen, wie diese Empfehlungen zu generalisieren sind. Auch ist es interessant, die Nachhaltigkeit von Flexibilisierungsmaßnahmen zu beurteilen, also die Möglichkeit, die Flexibilisierungen nicht inkrementell von Änderung zu Änderung, sondern möglichst als weitreichende Veränderungen etwa auf Basis von Entwicklungsmustern durchzuführen. Sollen bestehende Automatisierungssysteme im Sinne von Industrie 4.0 betrieben beziehungsweise erweitert werden, so sind deren Flexibilisierung und der Einsatz von Entwicklungsmustern eine wichtige Aufgabe.

Literatur

- [1] N. N.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Herausgegeben von der Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft und der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Frankfurt/Main, April 2013
- [2] Barad, M.; Sipper, D.: Flexibility in manufacturing systems - Definitions and Petri net modeling. International Journal of Production Research 26 (1988) No. 2, Taylor & Francis Group, pp. 237-248
- [3] Browne, J.; Stecke, K.; Dubois, D.; Suresh P. Sethi, Rathmill, K.: Classification of the flexible manufacturing systems: The FMS magazine 2 (1984) No. 2, pp. 114–117
- [4] N. N.: REFA – Methodenlehre der Betriebsorganisation: Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme. 2. Auflage. München: Carl-Hanser-Verlag 1990
- [5] Krasa, A.; Sethi, S.; Sethi, P.: Flexibility in manufacturing: A survey. The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Buch 2, Boston: Kluwer Academic Publishers 1990
- [6] Nyhuis, P.; Heinen, T.; Reinhart, G.; Rimpau, C.; Abele, E.; Wörn, A.: Wandlungsfähige Produktionssysteme – Theoretischer Hintergrund zur Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. wt Werkstattstechnik online 98 (2008) Nr. 1/2, S. 85–91. Internet: www.werkstattstechnik.de. Düsseldorf: Springer-VDI Verlag
- [7] Reinhart, G.; Engelhardt, P.; Geiger, F.; Philipp, T. R.; Wahlster, W.; Zühlke, D.; Schlick, J.; Becker, T.; Löckelt, M.; Pirvu, B.; Stephan, P.; Hodek, S.; Scholz-Reiter, B.; Thoben, K.; Gorltd, C.; Hribernik, K. A.; Lappe, D.; Veigt, M.: Cyber-Physische Produktionssysteme. wt Werkstattstechnik online 103 (2013) Nr. 2, S. 84–89. Internet: www.werkstattstechnik.de. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag
- [8] Schreiber, S.; Jerenz, S.; Fay, A.: Anforderungen an Steuerungskonzepte für moderne Fertigungsanlagen. In: Tagungsband Automation 2011, Baden-Baden, 28.06.–29.06.2011
- [9] Weyrich, M.; Scharf, M.: Architecture for Auto Configuration of Tools for Industrial Robots; ETFA 2013, IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Cagliari, Italien, 2013
- [10] Eckert, K.; Hadlich, Th.; Frank, T. Fay, A.; Diedrich, C.; Vogel-Heuser, B.: Design Patterns for Distributed Automation Systems with Consideration of Non-Functional Requirements. In: Tagungsband der 17. Tagung IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation“ (ETFA), Kraków, Polen, September 2012
- [11] Haubeck, C. ; Wior, I.; Braubach, L. Pokahr, A.; Ladiges, J.; Fay, A.; Lamersdorf, W.: Keeping Pace with Changes – Towards Supporting Continuous Improvements and Extensive Updates in Production Automation Software. Electronic Communications of the EASST, Volume 56 (2013), ISSN 1863-2122
- [12] Tempelmeier, H.; Kuhn, H.: Flexible Fertigungssysteme – Entscheidungsunterstützung für Konfiguration und Betrieb. Heidelberg: Springer-Verlag 1993

Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich
Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik IAS
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 47, D-70550 Stuttgart
Tel. +49 (0)711 / 685-67300, Fax +49 (0)711 / 685-67302
E-Mail: michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de
Internet: www.ias.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay,
Dipl.-Ing. Ireneus Wior, M.Sc. Daniel Bchennati
Institut für Automatisierungstechnik – Helmut-Schmidt-
Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg
Holstenhofweg 85, D-22043 Hamburg
Tel. +49 (0)40 / 6541-2719, Fax +49 (0)40 / 6541-2004
E-Mail: alexander.fay@hsu-hh.de
Internet: www.hsu-hh.de