

# **Absicherung der Produktion von morgen**

## *Wie flexible Wertschöpfungsketten das Testen von Automatisierungssystemen verändern*

Andreas Zeller und Michael Weyrich, Universität Stuttgart

### **Autoren**

Andreas Zeller, M.Sc. arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik der Universität Stuttgart.

Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich leitet das Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik der Universität Stuttgart und ist Vorsitzender des VDI/VDE-Fachausschusses 7.25 „Testen vernetzter Systeme für Industrie 4.0“.

### **Kontakt**

andreas.zeller@ias.uni-stuttgart.de

www.ias.uni-stuttgart.de

**Die Ansätze von Industrie 4.0 versprechen eine Veränderung der Produktionsorganisation und -technologie. Die darin geforderte IT-Vernetzung und Flexibilisierung der Produktion ändert den Wertschöpfungsprozess elementar. Dabei ergeben sich eine Reihe neuer Anforderungen zu dessen Absicherung. Besonders für den Produktionsstandort Deutschland spielt die Einhaltung von Qualitätsanforderungen eine zentrale Rolle. Um Ausschuss und Stillstandszeiten zu vermeiden, ist das systematische Testen der korrekten Funktionsfähigkeit von Produktionsanlagen vor Inbetriebnahme schon heute etabliert. Das Testen während des Engineerings und der Inbetriebnahme wird wegen der Dynamisierung der Produktion zukünftig nicht mehr ausreichen. Die Fähigkeit zur Absicherung der Produktion von morgen nimmt eine Schlüsselrolle ein, um die Wirtschaftlichkeit und somit die Akzeptanz für Industrie 4.0 zu steigern.**

Die Acatech-Umsetzungsempfehlung für Industrie 4.0 beschreibt die Individualisierung der Kundenwünsche als eines der großen Potenziale für Industrie 4.0 [1]. Dabei sollen Einzelstücke selbst in Hochlohnländern rentabel produzierbar sein. Zur automatisierten Koordination einer produktindividuellen Produktion ist eine flächendeckende IT-Vernetzung zwischen Elementen einer Wertschöpfungskette sowie zwischen verschiedenen Wertschöpfungsketten unabdingbar [2].

### **Wertschöpfungsketten werden flexibel**

In Bild 1 oben ist beispielhaft die Wertschöpfungskette einer konventionellen Produktionsanlage der Massenfertigung dargestellt. Während des Engineerings und bei anschließender Inbetriebnahme finden Modul-, Integrations- und Systemtests zur Gewährleistung der korrekten Funktionsweise der Anlage statt. Ist die Produktionsanlage installiert und abgenommen, werden während des Betriebs hauptsächlich Maßnahmen zur Qualitätssicherung durchgeführt [3]. Das Testen ist dabei zweitrangig, da die Produktionsumgebung weitgehend als statisch angesehen werden kann. Sind Anpassungen des Produktionsprozesses, zum Beispiel bei der Umstellung des zu produzierenden Produkttyps notwendig, ist dies meist mit größeren Umbaumaßnahmen der

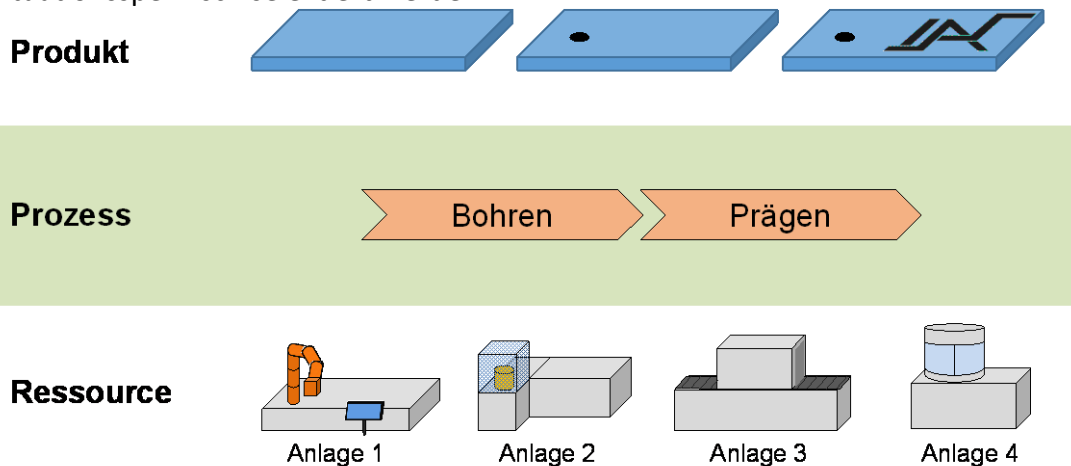
Produktionsanlage verbunden. Diese Umbaumaßnahmen müssen wiederum durch Tests abgesichert werden.

Die Individualisierung der Produkte und Flexibilisierung der Produktion verändert den Wertschöpfungsprozess elementar. Die geforderte Rekonfigurierbarkeit der Produktion soll durch Ad-hoc-Vernetzung und einen hohen Funktionsumfang der Cyber-Physischen Produktion erreicht werden [1]. Die daraus entstehende Dynamik führt dazu, dass Inbetriebnahmetests nicht mehr ausreichen, sondern über Tests im Betrieb ergänzt werden müssen. Dies führt zu einem Kreislauf von Produktion, Rekonfiguration und Test während des Betriebs.

*Bild 1: Schritte im Lebenszyklus einer Produktionsanlage.*

Analog zur Veränderung des Wertschöpfungsprozesses einer Produktionsanlage ändert sich der Wertschöpfungsprozess eines Produkts während der Produktentstehung. So ist bei der konventionellen Massenfertigung der Wertschöpfungsfluss aller Produkte eines Produkttyps nahezu identisch, im Voraus planbar und über Tests absicherbar. Durch die Vision des „intelligenten Produkts, das sich seinen Weg durch die Produktion sucht“ ändert sich die Produktionsorganisation und der Produktionsprozess elementar. Das intelligente Produkt verhandelt mit dem Produktionssystem über anstehende Produktionsschritte während der Produktion.

So verfügt das „intelligente Produkt“ über das Wissen über seinen Ist- und Soll-Zustand sowie über die Prozessschritte, die zum Erreichen des Soll-Zustands notwendig sind. Mittels des Prozesswissens können, gemäß definierter Optimierungskriterien geeignete Ressourcen ausgewählt werden. In **Bild 2** ist beispielhaft die Produktion eines Schlüsselanhängers dargestellt. Die notwendigen Prozessschritte „Bohren“ und „Prägen“ sind dem „intelligenten Produkt“ bekannt. Um flexibel auf die aktuelle Situation reagieren können wird kurzfristig der anstehende Prozessschritt einer Ressource zugeordnet. Bieten die Produktionsanlagen 1 und 2 den Prozessschritt „Bohren“ an, kann die geeignetere Anlage anhand aktueller Kriterien wie Energieeffizienz, momentane Auslastung, Kosten oder Qualität auftrags- und situationsspezifisch selektiert werden.



Die Produktionsplanung bzw. -konfiguration während des Betriebs verändert das Engineering von Automatisierungssystemen. „Design during Runtime“ erzeugt produktindividuelle Wertschöpfungsketten, welche sich erst während der Produktion zusammenfügen. Diese zunehmende Dynamisierung des Produktionsumfelds resultiert in einem erhöhten Testbedarf der Anlage.

Zur Organisation der Produktion sind neue Strukturen notwendig, welche sich an Strukturen des Internets der Dinge und Dienste orientieren. Diese, auf welche folgend eingegangen wird, bilden in der Automatisierungstechnik ein Novum, für deren Absicherung Testmethodiken noch weitgehend fehlen.

## **Neue Strukturen schaffen neue Herausforderungen**

Zur Umsetzung der geforderten Wandelbarkeit und Flexibilität nennt die Acatech-Umsetzungsempfehlung vier Säulen: Die (Re-)Konfigurierbarkeit, die Ad-hoc-Vernetzung, die Dezentralisierung und eine Intelligenz der Automatisierungskomponenten zur Gewährleistung der End-to-End-Performance [1].

*Rekonfigurierbare Systeme* und eine nahtlose Ad-hoc-Vernetzung stellen die Grundlage der Flexibilität dar. Zur Gewährleistung der Flexibilität müssen sie über einen hohen Funktionsumfang, standardisierte Schnittstellen und eine hohe Softwareintegration verfügen. Ein hoher Funktionsumfang resultiert meist in einer Vielzahl von notwendigen Testfällen, da die einzelnen Funktionen im Zusammenspiel abgesichert werden müssen. Wie heute bei Consumer-Produkten üblich, werden *Updates im Feld* zur Behebung von Software-Fehlern oder Erweiterung der Funktionalität in vielen Bereichen der industriellen Automatisierungstechnik Einzug halten.

Über *Ad-hoc-Netzwerke* können Produktionsanlagen schnell und komfortabel vernetzt werden. Zur nahtlosen Integration ist eine Selbstkonfiguration der Anlagen notwendig. Diese Self-X-Eigenschaften erfordern einen gewissen Grad an Autonomie. Um sicherzustellen, dass die autonomen Entscheidungen der Produktionseinrichtungen bestimmte Schranken nicht überschreiten und keine kritischen Entscheidungen getroffen werden, sind tief greifende Tests notwendig.

Die geforderte *Dezentralität* stellt eine Abkehr von der klassischen zentralistischen Automatisierungspyramide dar. Zentralistische hierarchische Entscheidungsstrukturen werden zunehmend durch eine dezentrale Entscheidungsfindung durch kooperierende Automatisierungskomponenten abgelöst. Die Umstrukturierung ist notwendig, da durch ständige Rekonfigurationen und Ad-hoc-Vernetzung die Komplexität des Gesamtsystems zentral nicht zu beherrschen wäre. Die dezentrale Entscheidungsfindung birgt aber auch Risiken. So sind Entscheidungen, die zwischen Automatisierungskomponenten ausgehandelt werden, nur schwer in Fehlerfällen nachzuvollziehen und damit diagnostizierbar. Eine Vielzahl von Automatisierungs-, Informations- und Softwaretechnologien schaffen in der Praxis ein heterogenes Umfeld. Wo Maschinensysteme verschiedener Hersteller und Instanzen verschiedener Referenzarchitekturebenen miteinander kommunizieren, ergibt sich eine Vielzahl an Protokollen, Semantiken und Schnittstellen. Um trotz verschiedener Anforderungen an Datensicherheit, Echtzeitverhalten und Datenrate eine zuverlässige Kooperation gewährleisten zu können, sind die Schnittstellen zwischen den Ebenen der RAMI-4.0-Referenzarchitektur für das Testen herausfordernd.

Wie in [1] beschrieben, spielen Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen eine wichtige Rolle, da sich die Aufgaben- und Kompetenzprofile der Mitarbeiter durch Industrie 4.0 stark verändern werden. Dies trifft besonders auch für den Testbereich zu. Doch neben Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen wird die Einführung einer Reihe von Testsystematiken und Tools notwendig sein, die den Mitarbeitern Entscheidungshilfen und Arbeitserleichterungen durch die Automatisierung von Aufgaben im Test bieten.

## Assistenzsysteme zur Unterstützung

Konventionelle Ansätze der Testfallpriorisierung und der Testautomatisierung beziehen sich hauptsächlich auf die Engineering- und Inbetriebnahmephase. Die Qualität des Testmanagements ist dabei noch sehr vom Erfahrungswissen des Testingenieurs abhängig. Die flächendeckende IT-Vernetzung bietet dabei neue Möglichkeiten der Informationsgewinnung. Diese Informationen können durch ein Expertensystem maschinell interpretiert, aufgearbeitet und dem Testingenieur als Entscheidungshilfe zur Verfügung gestellt werden. Besonders bei komplexen Systemen unterstützen schon heutzutage solche Assistenzsysteme den Testingenieur den Überblick über verfügbare Testfälle, die Kritikalität der einzelnen Komponenten und Funktionen sowie die aktuelle Testabdeckung zu behalten.

Das durchgängige Testen des vollständigen Wertschöpfungsflusses eines Produkts wird zukünftig aufgrund der hohen Variantenvielfalt und kleinen Losgröße nicht mehr rentabel beziehungsweise nicht mehr realisierbar sein. Um zwischen der Vielzahl an verfügbaren Testfällen zielgerichtet Testfälle erkennen und priorisieren zu können, werden Systematiken notwendig sein, welche den Testmanager und Testingenieur unterstützen.

Um den Testaufwand, auch während der Betriebsphase der Produktionsanlage, beherrschbar zu gestalten, werden Algorithmen zur automatisierten Testfallpriorisierung eingesetzt. In [3] wird beispielsweise eine Testfallpriorisierung basierend auf einer Kosten-Nutzen-Abschätzung vorgeschlagen.

Die Kosten, die durch das Testen entstehen, werden dabei dem Nutzen des jeweiligen Tests gegenübergestellt. Die Kosten beinhalten anfallende Personal- und Materialkosten sowie die Kosten, die durch die Stillstandszeit der Anlage entstehen. Der Nutzen beschreibt den Grad der Zuverlässigkeitserhöhung, welcher durch die jeweiligen Testmaßnahmen erreicht wird. Er ergibt sich aus der Kritikalität der Komponente für das Gesamtsystem, der Wahrscheinlichkeit einer Nichtfunktionalität, der Effektivität der Testmaßnahmen sowie der aktuellen Testabdeckung. Durch die durchgängige IT-Vernetzung kann dabei auf modelliertes Wissen und Erfahrungswerte zurückgegriffen werden, welche die Kriterien der Kosten-Nutzungsabschätzung beeinflussen. Durch die IT-Vernetzung zwischen dem Produkt und der Ressource ist ebenfalls eine Einbeziehung der Anforderungen des Produkts in die Testfallselektion vorstellbar.

Neben der Unterstützung durch Testfallidentifikation und Testfallselektion wird die Testautomatisierung an Bedeutung zunehmen. Dabei ergeben sich, durch die Durchgängigkeit der IT-Vernetzung, neue Möglichkeiten, Testfälle zwischen Automatisierungskomponenten zu koordinieren und Anweisungen zur Testdurchführung auf die Automatisierungskomponenten zu laden.

Einige Vertreter aus Industrie und Forschung haben die Herausforderung für das Testen erkannt und am 26.06.2015 den VDI/VDE-GMA-Fachausschuss 7.25 „Testen vernetzter Systeme für Industrie 4.0“ ins Leben gerufen. In einem ersten Schritt entwirft der Fachausschuss geeignete Szenarien und analysiert die resultierenden Anforderungen. Anschließend werden verschiedene Methodiken für verschiedene Ebenen und Anwendungsbereiche entworfen und bewertet. Das langfristige Ziel besteht in der Erarbeitung von Richtlinien.

## Literatur

- [1] Acatech: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, April 2013. URL: [http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen\\_Industrie4\\_0.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf), Abrufdatum 20.07.2015.
- [2] VDI/VDE GMA: Statusreport Industrie 4.0 Wertschöpfungsketten, April 2014. URL: [http://www.vdi.de/fileadmin/vdi\\_de/redakteur\\_dateien/gma\\_dateien/VDI\\_Industrie\\_4.0\\_Wertschoepfungsketten\\_2014.pdf](http://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/VDI_Industrie_4.0_Wertschoepfungsketten_2014.pdf), Abrufdatum 20.07.2015.
- [3] Zeller, A.; Weyrich, M.: Test Case Selection for Networked Production Systems. 20th IEEE ETFA, Luxemburg 2015.

### *Schlüsselwörter:*

Testen, vernetzte Systeme, Industrie 4.0, Absicherung, Cyber-Physische Systeme

*Besonderer Dank gilt dabei Frau Dr. Dagmar Dirzus sowie den Mitgliedern des VDI/VDE-GMA-Fachausschusses 7.25.*

## **Hedging the Production of Tomorrow – How Flexible Value Chains Change the Testing of Automation Systems**

The existing approaches of Industry 4.0 promise a fundamental change of production organisation and production technologies. The demanded IT-networking and flexibility of production change the value creation process elementary. Hence, there are new requirements emerging to ensure the process. Especially, for the German industry, the adherence of quality requirements is the key factor in being competitive. According to the state of the art, to reduce system down time, systematic testing of the functionality of production facilities before commissioning is employed. Due to the dynamization of production, testing in the engineering and commissioning phase will not be sufficient in the future. The ability to ensure the production of tomorrow plays an important role in increasing the profitability, and with it, the acceptance for Industry 4.0. This article describes the structural changes of a smart production and its effects on testing.

### Keywords:

testing, networked systems, Industrie 4.0, Cyber-Physical Systems