

Methode zum automatischen Abgleich eines Digitalen Zwillings von Automatisierungskomponenten im Feld und deren digitalen Planungsständen Am Beispiel der Automobil-Produktion im Karosserierohbau

F. Biesinger, Daimler AG, Sindelfingen; GSaME - Universität Stuttgart;
D. Meike, Daimler AG, Sindelfingen;
B. Kraß, Daimler AG, Sindelfingen;
M. Weyrich, IAS - Universität Stuttgart, Stuttgart

Kurzfassung

Aufgrund des zunehmenden Wettbewerbs und der Elektrifizierung in der Automobilindustrie werden zukünftig immer mehr Fahrzeugderivate und –varianten kostensensibel in bestehende Produktionslinien integriert. Gleichzeitig stehen die Produktionsplaner bei einer Fahrzeugintegration in den Karosserierohbau vor einer großen Herausforderung. Denn im Gegensatz zum ursprünglichen Planungsstand werden die automatisierten Produktionsanlagen nach dem Start der Produktion infolge von Verbesserungsprozessen kontinuierlich optimiert. Für eine realistische Integrationsplanung ist deshalb ein aktuelles, digitales Abbild der Produktionsanlage, auch Digitaler Zwilling genannt, wegweisend. Aufgrund der Vielzahl von Produktionseinrichtungen in Großunternehmen und des Wandels in der Produktion, ist die Identifizierung von den aktuell vorhandenen Geräten eine Grundvoraussetzung, um einen Digitalen Zwilling erzeugen zu können. Hierfür werden zwei unterschiedliche Methoden zur Informationsbeschaffung und Identifizierung von aktuell vorhandenen Geräten in einem cyber-physischen System in der Produktion vorgestellt, verglichen und bewertet. Darauf aufbauend wird ein Verfahren beschrieben mit dem ein Planungsmodell durch methodisches Mapping mit Automatisierungskomponenten in einer Produktionslinie auf seine Aktualität geprüft werden kann. Das Mapping wird durch das Herstellen einer Beziehung zwischen den elektrischen Geräten und den technischen Ressourcenbeschreibungen in den Planungsmodellen erreicht. Es ermöglicht eine Überprüfung, ob Ressourcen in der Produktion gegenüber dem Planungsstand neu hinzugekommen oder zurückgebaut wurden. Somit können Änderungen in Bereichen oder Teilbereichen von Planungsmodellen ermittelt werden. Darauf aufbauend wird in diesem Beitrag erstmals ein Mapping und Zusammenführen des Mengengerüsts eines Planungsmodells und des Mengengerüsts aktueller elektrischer Geräte aus der Produktion, auf Basis des Datenformates AutomationML untersucht und anhand von Datensätzen aus der Praxis verifiziert. Das standardisierte Datenformat AutomationML etabliert sich derzeit in der Automobilindustrie und eignet sich zum systemunabhängigen Datenaustausch zwischen

verschiedenen Softwarewerkzeugen. In diesem Beitrag wird aufgezeigt, inwieweit es Standards ermöglichen, Geräte im cyber-physischen System, den Planungsmodellen der Digitalen Fabrik zuzuordnen. Gleichzeitig werden die praktische Anwendbarkeit und die Grenzen einer derartigen Methode anhand einer realen Produktionsanlage eines vollautomatisierten Karosserierohbaus in der Automobilindustrie verifiziert.

Abstract

In contrast to the original planning state, the automated production plants are continuously redesigned after the start of production as a result of improvement processes. Due to this changes production planners face a significant challenge when integrating new vehicle bodywork.

For a realistic integration planning, a current digital image of the production plant, the so-called digital twin is necessary. Through the high number of production facilities in large companies, the identification of the currently available devices is an essential requirement to identify changes for automated update of the digital twin. For this purpose, different methods for obtaining information and identifying currently existing devices in a cyber-physical system in production are presented, compared and evaluated.

Furthermore, there is a prioritization of the automation components encountered in production related to the digital models from the digital factory.

In this paper, a method is described through that methodical mapping can identify differences in planning models based on current automation components in a production system. The mapping is accomplished by establishing a relationship between the electrical devices and the technical resource descriptions in the planning models.

This mapping allows checking whether a resource has been newly added or removed in the production compared to the planning status. Thus, changes in areas or subareas of the planning models can be determined. In the verification of the method the standardized data format AutomationML is used for the data mapping. AutomationML is currently establishing itself in the automotive industry for data exchange. It is used in the Digital Factory as well as the subsequent engineering phase to exchange data system-independent between different planning tools, which can save import and export interfaces.

1. Einleitung

Ausgangssituation

Die Elektrifizierung des Automobils und der steigende Wettbewerb stellen Automobilhersteller vor die Herausforderungen, dass mehr Produktvarianten angeboten werden, die bei kürzer werdenden Produktlebenszyklen, weiterhin wirtschaftlich produziert werden müssen [1]. Durch diese Herausforderungen ergeben sich in der Fabrik Veränderungs- und Optimierungsprozesse. In Folge dessen sind die Informationen zur Fabrik in den Planungsmodellen oft nicht mehr aktuell. Diese Differenz zwischen realer Produktionsanlage und Planungsmodell beschreibt Westkämper [2] als eine der größten Schwächen heutiger Informationsverarbeitung. Die Rückführung aktueller Informationen der realen Fabrik in die Modelle der Digitalen Fabrik, ist die Grundlage für weitere Planungen. [2]

Handlungsfelder

Für Planungen, insbesondere Umplanungen und die Weiterentwicklung bestehender Fertigungsprozesse, ist es wichtig das Wissen und die Erkenntnisse aus der realen Fabrik in das digitale Modell zurückfließen zu lassen [3]. Denn nur auf Basis eines aktuellen digitalen Modells der bestehenden Fertigung, auch „Digitaler Zwilling“ genannt, kann diese weiterentwickelt werden [4]. Es gibt aktuell keine automatisierte Rückführung von Änderungen der realen Fertigung, in die Modelle der Digitalen Fabrik [5]. Dies stellt Produktionsplaner bei einer Integration von neuen Fahrzeugvarianten und neuen Fahrzeugderivaten vor große Herausforderungen. Denn eine manuelle Aufnahme von Änderungen in der Produktion durch den Produktionsplaner ist sehr zeitaufwendig und daher teuer.

Zielsetzung

Um diesen Herausforderungen zu begegnen wird in diesem Beitrag eine Methode zur automatischen Identifikation von Änderungen in der Produktion gegenüber Planungsständen der Digitalen Fabrik vorgestellt. Der Karosserierohbau stellt eines der am höchsten automatisierten Gewerke im Automobilen-Produktionsprozess dar und eignet sich daher optimal für eine Untersuchung. Hierfür werden exemplarisch zwei unterschiedliche Methoden als Beispiel zur Identifikation von Automatisierungskomponenten im cyber-physischen System des Karosserierohbaus miteinander verglichen. Darauf aufbauend werden die identifizierten Geräte durch die in diesem Beitrag vorgestellte Indikator-Methode auf Planungsmodelle des Karosserierohbaus gemappt, um deren Aktualität zu überprüfen.

2. Stand der Technik

In den letzten Jahren sind intensive Bestrebungen erfolgt, um im Gewerk des Automobilen Rohbaus digitale Verfahren einzuführen. Dabei wurde in der Digitalen Fabrik ein neutrales Austauschformat namens AutomationML etabliert. Im Folgenden wird der Stand der Technik hierzu kurz zusammengefasst.

Karosserierohbau

Der Karosserierohbau unterteilt sich in drei sogenannte „Z-Bereiche“ [6]. Auf Bild 1 sind die unterschiedlichen Fertigungsbereiche (Z-Bereiche) im Karosserierohbau, am Beispiel des Fahrzeugs „S-Klasse Coupé“ dargestellt. Der Karosserierohbau bestimmt maßgeblich das Erscheinungsbild eines Automobils und seiner Marke und ist deshalb bei fast allen Herstellern eine Kernkompetenz, mit einer sehr hohen Eigenleistungstiefe von 80 – 100 % [6].

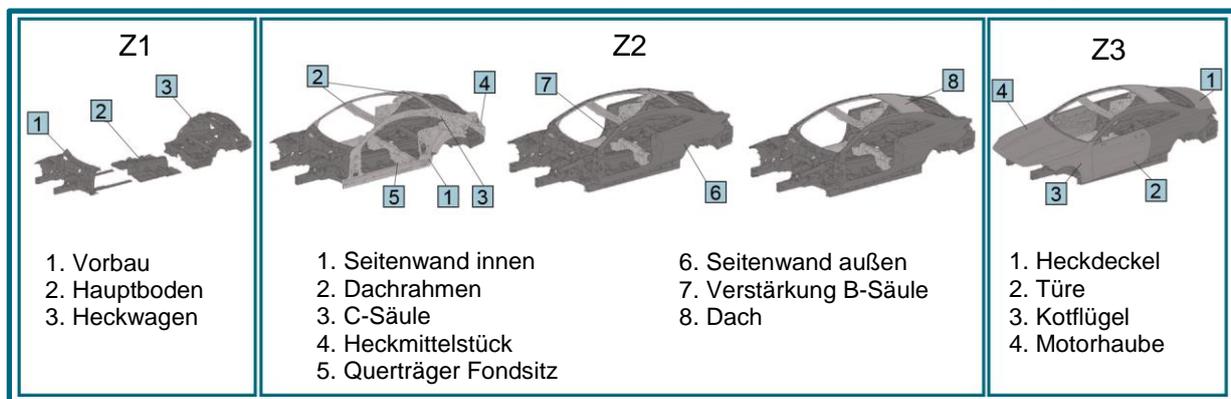


Bild 1: Der Karosserierohbau am Beispiel der S-Klasse Coupé

Wemhöner [6] beschreibt das Gewerk Karosserierohbau als eines der am besten automatisierten Gewerke. Insbesondere Produktionslinien im Karosserierohbau weisen einen sehr hohen Automatisierungsgrad auf [7] [8]. Die Z1-Produktionslinie, an der der Vorbau, der Hauptboden und der Heckwagen zusammen gefügt werden ist hochautomatisiert.

Digitale Fabrik

Für Bracht [3] ist die Digitale Fabrik das Bindeglied zwischen Produktentwicklung, Produktionsplanung und Produktion. Westkämper [9] sieht ein Kostenersparnis von bis zu fünf Prozent der Herstellungskosten, durch die Digitale Fabrik. Die Digitale Fabrik ermöglicht eine frühzeitige Parallelisierung von Produktentwicklung und Produktionsplanung [10]. Bracht [3] beschreibt das Hauptanwendungsgebiet der Digitalen Fabrik durch das visuelle und simulative Abbilden der Produktion und zukünftiger Produkte. Speziell für Folgeplanungen ist es wichtig, dass das Wissen und die Erkenntnisse der realen Fabrik in die digitalen Modelle zurück fließen [3]. Durch einen daraus resultierenden aktuellen Digitalen Zwilling der realen Produktionsanlage,

können Umrüstzeiten durch virtuelle Planung und Simulation verringert werden und damit Kosten eingespart werden [11]. Somit ist ein aktueller Digitaler Zwilling ein wichtiger Bestandteil der Digitalen Fabrik, um zukünftige Fahrzeugintegrationen in bestehende Produktionsanlagen zu erleichtern.

Im Planungsprozess erfolgt nach der internen groben Planung einer Produktionsanlage durch das Automobilunternehmen, eine Auftragsvergabe an einen Anlagenlieferanten [12]. Der Anlagenlieferant erstellt die Detailplanung und das Anlagenengineering. Ein wichtiger Bestandteil davon ist die Robotersimulation, in der die Roboterprogramme erstellt und die Fügeprozesse für die einzelnen Fertigungszellen im Detail geplant und simuliert werden. Die Robotersimulation kann nach der Übergabe an das Automobilunternehmen mit Spezialwerkzeugen in die interne Grobplanung zurückgeführt werden. In diesem Beitrag wird eine Methode zur Identifizierung von Änderungen zwischen den Geräten im cyber-physischen System (CPS) der Produktion und dem aktuellsten Planungsmodell - der Robotersimulation untersucht. Das CPS ist ein Verbund mehrerer physikalischer Geräte, die über ein Kommunikationsnetzwerk miteinander kommunizieren und interagieren. [13] [14] [15]

AutomationML

In der Automobilindustrie, insbesondere in der Digitalen Fabrik und im Anlagenengineering etabliert sich derzeit AutomationML (AML) als Standardformat zum Austausch von Daten zwischen unterschiedlichen Werkzeugen. Schröder et al. [15] schlagen AML vor um einen Digitalen Zwilling zu modellieren sowie zum Austausch von Daten zwischen unterschiedlichen Systemen. AML bietet den Vorteil, dass mehrere verschiedene Standards miteinander kombiniert werden können, die sich im jeweiligen Anwendungsgebiet schon bewährt haben. Das CAEX (Computer Aided Engineering eXchange), gemäß IEC 62424 [16], bildet die Grundlage für ein objektorientiertes statisches Anlagenmodell. CAEX stellt dabei Klassen und Bibliotheken bereit. Es enthält eine Instanz-Hierarchie, die die Topologie einer konkreten Anlage oder Teilanlage beschreibt. Zwischen den CAEX-Objekten untereinander ermöglicht CAEX die Beschreibung von Schnittstellen, Relationen und Referenzen. Des Weiteren ist eine Zuordnung in Klassen zur Modellierung mit abstrakten Funktionen zu sogenannten Rollen eine bedeutende Eigenschaft von CAEX und damit von AML. [12]

3. Indikator-Methode

Um den zuvor aufgezeigten Unzulänglichkeiten entgegenzutreten, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Methode entwickelt, um Änderungen in Bereichen und Teilbereichen eines Planungsmodells, auf Basis von Indikatoren aus den Automatisierungskomponenten im CPS

der Produktion zu erkennen. Die Methode ist in Bild 2 exemplarisch dargestellt und wird im folgenden Indikator-Methode genannt. Die Indikator-Methode kann in vier Schritte eingeteilt werden:

Schritt 1: Alle Geräte im CPS werden identifiziert und in eine hierarchische Anordnung gemäß IEC 62264-1 gebracht.

Schritt 2: Gerätegruppen die sowohl im CPS als auch im Planungsmodell vorkommen, werden priorisiert. Diese priorisierten Gerätegruppen dienen anschließend als Indikatoren. Die identifizierten Geräte, die als Indikatoren genutzt werden können, werden dem aktuellsten Planungsmodell zugeordnet.

Schritt 3: Die Produktion wird optimiert oder es wird eine Erweiterung der Produktionsanlage durchgeführt. Bei Bedarf einer Identifikation von Änderungen im Planungsmodell, wird erneut eine Geräteabfrage im CPS der Produktion durchgeführt.

Schritt 4: Ein Abgleich der in Schritt 3, identifizierten Geräte mit den implementierten Indikatoren, gibt Aufschluss über die Änderungen im Planungsmodell. Aus den identifizierten Änderungen gegenüber den implementierten Indikatoren können Rückschlüsse auf Änderungen in Bereichen und Teilbereichen des Planungsmodells abgeleitet werden. Darauf aufbauend wird gegebenenfalls das Mengengerüst des Planungsmodells aktualisiert.

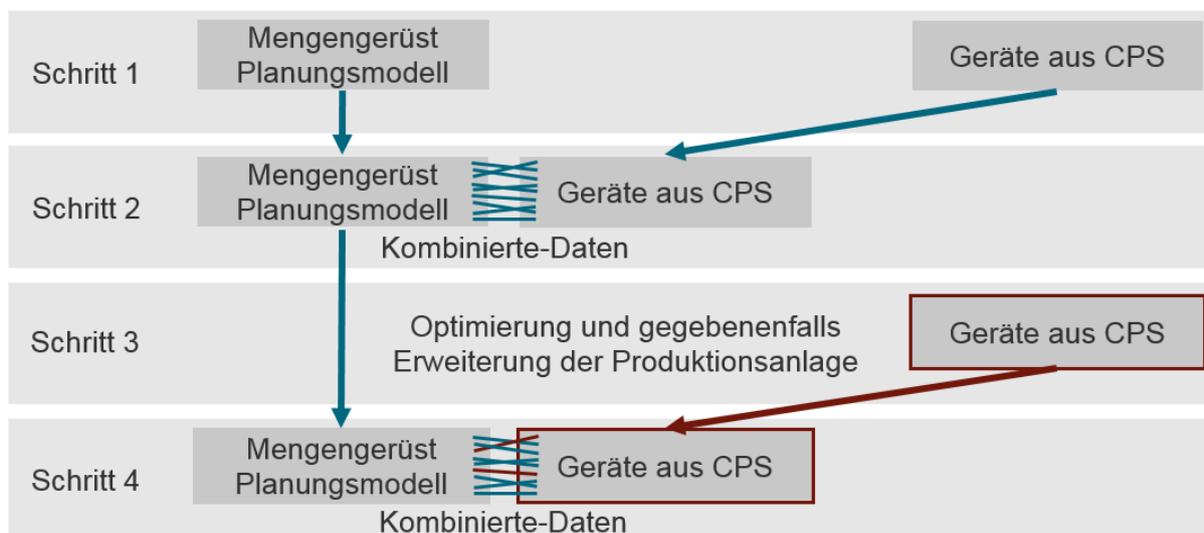


Bild 2: Indikator-Methode

4. Anwendung

In diesem Kapitel werden unterschiedliche Methoden zur Identifikation von Geräten im CPS gegenübergestellt und diskutiert. Darauf aufbauend wird die Indikator-Methode mit Daten aus einer realen Produktion im Karosserierohbau (Z1-Linie) der Automobilindustrie verifiziert.

Standardisierte Bezeichnungssystematik von Geräten im Karosserierohbau

Anlagenlieferanten müssen bei der Detail Planung und beim Aufbau der Anlage spezielle Kundenstandards berücksichtigen, diese enthalten unter anderem eine einheitliche Bezeichnungssystematik [12].

Ein Beispiel einer solchen standardisierten Bezeichnungssystematik für den Namenscode von

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| h901-020rb-400-kf106.m050g9sub61sps1 | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1: Verbauort des Gerätes -> Bsp.: Schaltschrank | | | | | | | |
| 2: Stationsbezeichnung -> Bsp.: Station 20 | | | | | | | |
| 3: Funktionsgruppe und -nummer -> Bsp.: RB-400 | | | | | | | |
| 4: Geräteklasse und -nummer -> Bsp.: kf106 | | | | | | | |
| 5: Werkskennzahl -> Bsp.: Werk 50 | | | | | | | |
| 6: Gebäude -> Bsp.: Gebäude 9 | | | | | | | |
| 7: Anlagenbezeichnung -> Bsp.: UB61 | | | | | | | |
| 8: SPS-Bereich -> Bsp.: SPS1 | | | | | | | |

Geräten ist in Bild 3 exemplarisch dargestellt. Der Namenscode enthält Informationen über den Verbauort, die Station, die Funktionsgruppe, die Geräteklasse, die Werkskennzahl, die Gebäude und Anlagenbezeichnung sowie den jeweiligen SPS-Bereich. Der Bezeichnungsteil vor dem Punkt, des standardisierten

Namenscodes ist ebenfalls in der Robotersimulation enthalten. Somit können anhand dieser einheitlichen Bezeichnungssystematik Indikatoren identifiziert werden.

Gegenüberstellung der Geräteinformationen aus unterschiedlichen Datenquellen

Aufgrund der Vielzahl von Produktionseinrichtungen in Großunternehmen und des Wandels in der Produktion, ist die Identifizierung von den aktuell vorhandenen Geräten eine Grundvoraussetzung, um Planungsmodelle auf Basis realer Änderungen in der Produktion zu aktualisieren.

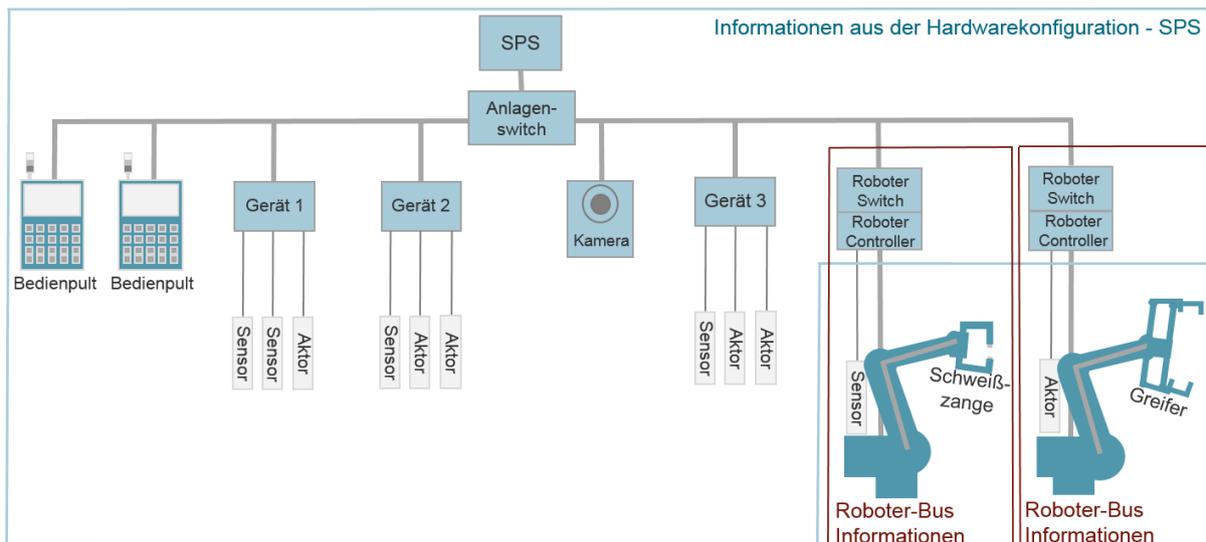


Bild 4: Vereinfachte Darstellung von Automatisierungskomponenten in einer Anlage im Karosserierohbau

Auf Bild 4 ist eine Fertigungsanlage mit ihren Automatisierungskomponenten eines Karosserierohbaus exemplarisch dargestellt. Im ersten Schritt werden Geräte im CPS der Produktion ermittelt.

Hardwarekonfiguration: Eine Methode zur Identifikation von Geräten im CPS der Produktion ist das Auslesen und Kombinieren verschiedener Hardwarekonfigurationsdateien. Im Karosserierohbau werden Roboter sowie weitere Geräte von einer SPS gesteuert. Da der Roboter wiederum eigene Peripheriegeräte wie zum Beispiel einen Greifer ansteuert, hat die SPS keine Informationen über die Gerätekonfiguration des Roboters (siehe Bild 4). Deshalb muss von dem Roboter ebenfalls die Konfiguration (Roboter-Bus Information) ausgelesen werden und mit der SPS Konfiguration kombiniert werden. Die aktuellen Konfigurationsdateien von der SPS und dem Roboter können zum Beispiel auf einem Backup Server, als aktuelle Sicherungskopie abgespeichert sein. Durch die Kombination der Informationen aus unterschiedlichen Hardwarekonfigurationen, ist es zusätzlich möglich Informationen über Sensoren und Aktoren, die von den jeweiligen Geräten angesteuert werden, auszulesen.

Profinet-Netzwerkscan: Eine weitere Methode zur Identifikation von Geräten im CPS der Produktion ist ein Netzwerkscan. Dieser kann in einem Profinet-Netzwerk zum Beispiel mit dem Softwarewerkzeug Profinet-Analyzer durchgeführt werden. Bei dieser sogenannten Profinet-Analyse werden alle profinetfähigen Netzwerkteilnehmer identifiziert. Die Profinet-Analyse muss an jedem SPS-Bereich separat durchgeführt werden. Anschließend werden die einzelnen Profinet-Analysen zusammengeführt.

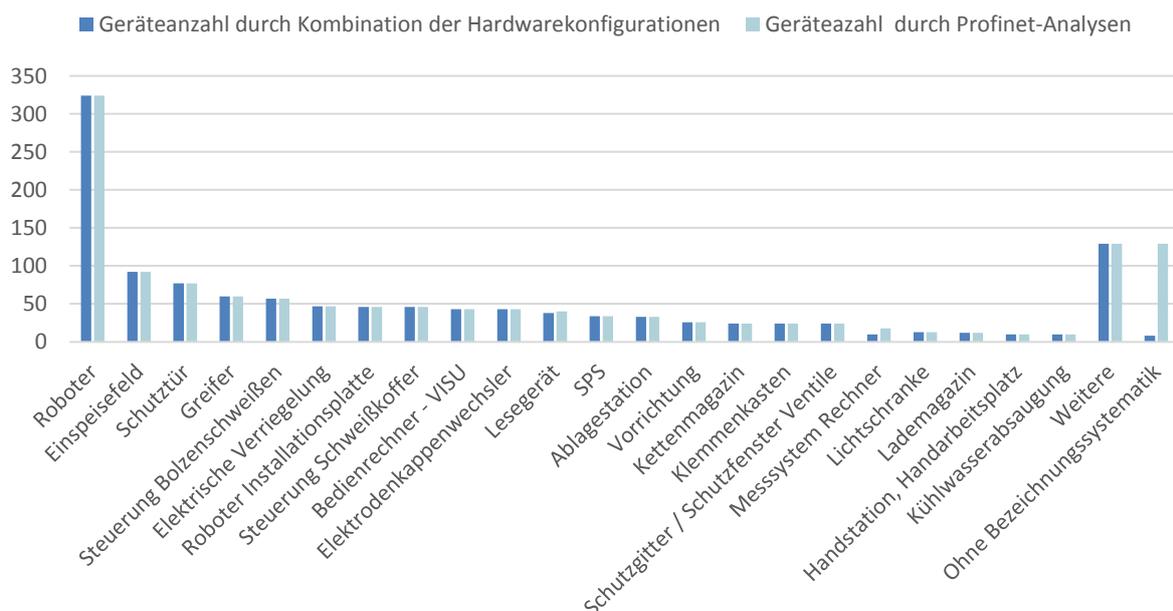


Bild 5: Funktionsgruppen in einer Z1-Rohbaulinie

In Bild 5 sind die durch Profinet-Analysen identifizierten Geräte sowie die aus den Hardwarekonfigurationen ermittelten Geräte, in Funktionsgruppen eingeordnet und gegenübergestellt. Aus Bild 5 ist zu entnehmen, dass nahezu alle Geräte mit einer vorhandenen Bezeichnungssystematik sowohl durch den Netzwerkskan, als auch durch die Kombination der Hardwarekonfigurationen identifiziert wurden. Funktionsgruppen die weniger als zehn Mal vorgekommen, wie zum Beispiel die Geostation, Haltezone, Kleben, Drehtisch, Fasspumpe und weitere, sind in Bild 5 unter „weitere“ zusammengefasst. Eine Geräteklassifizierung der in Bild 5 aufgeführten identifizierten Geräte nach IEC 81346-2 zeigt, dass eine SPS und ein Roboter jeweils aus einem Controller und einem Switch, mit derselben Funktionsgruppe bestehen, wodurch sich deren Anzahl gegenüber Bild 5 halbiert. Des Weiteren ist eine große Abweichung bei den Geräten ohne Bezeichnungssystematik aus Bild 5 zu entnehmen. Dabei handelt es sich um Switches, Firewalls und weitere übergeordnete Geräte, die für diese Methode nicht relevant sind.

Verifikation

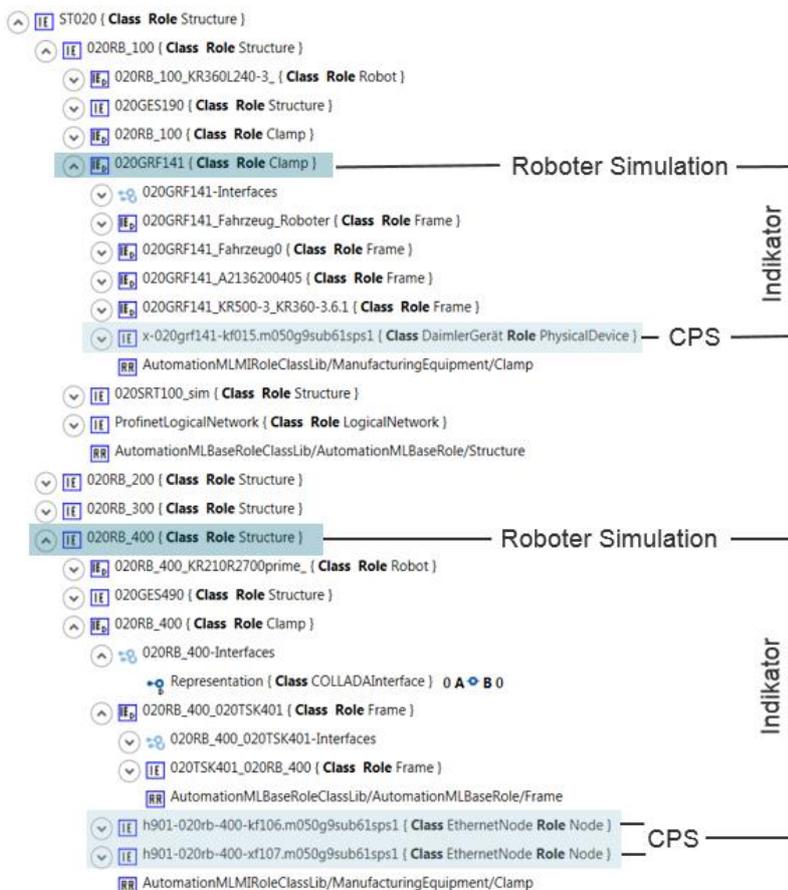


Bild 6: Beispiel einer AML-Datei der Robotersimulation

Auf Basis des standardisierten Datenformates AML sowie dem Einsatz des innovativen Softwarewerkzeuges „AutomationML-Merge“ wird die Methode im Folgenden verifiziert. Dieses Softwarewerkzeug kann zum Zusammenführen von AML Datensätzen sowie zur Identifikation von Unterschieden in AML Datensätzen verwendet werden.

Schritt 1: Die identifizierten Geräte des CPS, werden aus den unterschiedlichen Datenformaten in das gemeinsame Datenformat AML konvertiert und in eine Hierarchiestruktur

gemäß IEC 62264-1 gebracht. Alle notwendigen Informationen zur Einordnung in die Hierarchiestruktur, sind im standardisierten Namenscode der Geräte enthalten.

Schritt 2: Die Funktionsgruppen des CPS werden den Funktionsgruppen der Ressourcen aus der Robotersimulation gegenübergestellt. Die Funktionsgruppen, die sowohl in der Robotersimulation als auch im CPS vorkommen, werden priorisiert und dienen im Folgenden als Indikatoren. Dies sind mechatronische Geräte wie zum Beispiel ein Roboter, ein Greifer, ein Lademagazin, ein Elektrodenkappenwechsler und weitere. Anschließend erfolgt die Zuordnung der Automatisierungskomponenten des CPS zum AML-Export aus der Robotersimulation. Diese Zuordnung wird über die identifizierten Indikatoren realisiert. Auf Bild 6 ist das Einbringen von Indikatoren in die AML-Datei der Robotersimulation exemplarisch dargestellt.

Schritt 3: Da in der realen Anlage während des Zeitraumes der Untersuchung keine Optimierungen durchgeführt wurden, wurden theoretisch mögliche Szenarien anhand der realen Datensätze simuliert. Hierfür werden in einem Szenario, Geräte in die CPS Hierarchiestruktur hinzugebaut sowie in einem weiteren Szenario Geräte aus der CPS Hierarchiestruktur entfernt.

Schritt 4: Durch einen Abgleich der hinzugefügten, bzw. entfernten Funktionsgruppen in der CPS Hierarchiestruktur konnten fehlende bzw. neu hinzugekommene Indikatoren in der kombinierten Struktur (Schritt 2) des Planungsmodells identifiziert werden.

Durch die fehlenden und hinzugekommenen Indikatoren, gegenüber Schritt 2, konnten anschließend Rückschlüsse auf Änderungen von Ressourcen in Teilbereichen der Anlage getroffen werden. Dabei wurde ersichtlich, dass durch einzelne Indikatoren von Automatisierungskomponenten des CPS, Rückschlüsse auf Kombinationen von Ressourcen im Planungsmodell möglich sind. Beispielsweise gehören zu den Indikatoren Schweißsteuerung und Elektrodenkappenwechsler im Planungsmodell zusätzlich die Ressourcen Elektrodenkappenfräser und Schweißzange.

6. Fazit und Ausblick

Die Verifikation der Indikator-Methode am Beispiel einer realen Produktionsanlage im Karosserierohbau hat gezeigt, dass die Identifikation von Änderungen in Planungsmodellen durch aktuelle Geräte im CPS möglich ist, soweit eine ähnliche Bezeichnungssystematik der Geräte und Ressourcen in Planungsmodellen verwendet wird. Dies wurde am Beispiel des zum Start der Produktion aktuellsten Planungsmodells - der Robotersimulation verifiziert. Das Mapping mit Indikatoren ermöglicht eine Überprüfung, ob Ressourcen in der Produktion gegenüber der Robotersimulation neu hinzugekommen oder zurückgebaut wurden.

Aus der Untersuchung kann dabei folgendes Fazit gezogen werden:

- Die Anwendung der Indikator-Methode zur Identifikation von Änderungen in Planungsmodellen, wurde anhand realer Anlagendaten und Planungsmodelle der Digitalen Fabrik am Beispiel des Karosserierohbaus verifiziert.
- Einzelne Automatisierungskomponenten können als Indikatoren in Planungsmodellen genutzt werden, um die Aktualität in Bereichen und Teilbereichen eines Planungsmodells zu überprüfen.
- Ein Zusammenhang zwischen Automatisierungskomponenten in der Produktion und Komponenten in Planungsmodellen kann über eine standardisierte Bezeichnungssystematik hergestellt werden.
- Es gibt Planungsmodelle (Robotersimulation) die über eine ähnliche Bezeichnungssystematik wie die Automatisierungskomponenten verfügen.
- Eine Standardisierung bei den Datenformaten und der Bezeichnungssystematiken ist ein essentieller Bestandteil zur Aktualisierung eines Digitalen Zwillings der Produktion.

Für eine Aktualisierung von Planungsprojekten in der internen Grobplanung kann die Methode bisher noch nicht angewendet werden, da in der Grobplanung mit Modulen aus einer vereinfachten Standard-Planungsbibliothek gearbeitet wird. Der nächste Schritt wird eine Identifikation von Änderungen sowie eine Aktualisierung von Grobplanungsprojekten sein. Es gibt zwar momentan Spezialwerkzeuge um Planungsmodelle aus der Robotersimulation mit Hilfe von AML in die Grobplanung zurück zu führen. Diese Rückführung der Daten ist jedoch eine sehr komplexe Aufgabe und bisher nur mit manuellem Aufwand möglich. Für die automatisierte Aktualisierung von Grobplanungsprojekten, muss diese Methode daher weiterentwickelt werden.

Quellen:

- [1] Bauernhansl, T.; Hompel, M.; Vogel-Heuser, B.: „Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik“ Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden DOI: 10.1007/978-3-658-04682-8. 2014
- [2] Westkämper, E.; Löffler, C.: „Strategien der Produktion“, Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer. 2016
- [3] Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S.: „Digitale Fabrik“ Methoden und Praxisbeispiele. Berlin u.a.: Springer (VDI-Buch). 2011
- [4] Ashtari Talkhestani, B.; Schlögl, W. und Weyrich, M.: “Synchronisierung von digitalen Modellen mit realen Fertigungszellen auf Basis einer Ankerpunktmethodem am Beispiel der Automobilindustrie“. Automation 2017 27.-28.06.2017 Baden-Baden, 2017.

- [5] Schacht, M.: „Betriebsdatenerfassung und Auswertung für die Planung Anforderungen der Automobilindustrie“ Aus Sicht von AUDI. 12. Fachkongress Digitale Fabrik. Automobil Produktion. Köln, Ameron Hotel Regent, 16.11.2016.
- [6] Wemhöner, N.: „Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau“. Dissertation. Aachen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen. Institut Produktionstechnologie. 2005
- [7] Lambertz, A.: Übersicht Rohbaunebenlinien. Technisch-wirtschaftliche Bewertung von Flexibilität in Rohbaunebenlinien. Dissertation. Technische Universität Berlin, Berlin. Fakultät V - Verkehrs- und Maschinensysteme. 2009
- [8] Walla, W.: „Standard- und Modulbasierte digitale Rohbau-prozesskette“, Frühzeitige Produktbeeinflussung bezüglich Produktionsanforderungen im Karosserierohbau der Automobilindustrie. Dissertation. Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), 2015.
- [9] Westkämper, E.; Spath, D.; Constantinescu, C.; Lentjes, J.: „Digitale Produktion“ Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2013
- [10] Stanev, S.: „Methodik zur produktionsorientierten Produktanalyse für die Wiederverwendung von Produktionssystemen – 2REUSE“. Konzept, Informationsmodell und Validierung am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus in der Automobilindustrie, Dissertation, Karlsruhe. 2012
- [11] Ashtari Talkhestani, B.; Schögl, W. und Weyrich M.: „Synchronisierung von digitalen Modellen - Anwendung einer Ankerpunktmethode für Fertigungszellen“ atp edition - Automatisierungstechnische Praxis, vol. 59, no. 07–08, pp. 62–69, 2017.
- [12] Draht, R.: „Datenaustausch in der Anlagenplanung mit AutomationML“, Integration von CAEX, PLCopen XML und COLLADA. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [13] Lee, E. A.: „Cyber Physical Systems: Design Challenges“, International Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008 DOI: 10.1109/ISORC.2008.25.
- [14] Baheti, R.; Gill, H. (2011): „Cyber-physical Systems“ The Impact of Control Technology. In: www.ieeecss.org, S. 161–166.
- [15] Schroeder, G. N.; Steinmetz, C.; Pereira, C. E.; Espindola, D. B.: „Digital Twin Data Modeling with AutomationML and a Communication Methodology for Data Exchange“ IFAC-PapersOnLine 49 (30), S. 12–17. 2016. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.11.115.
- [16] DIN EN 62424 (VDE 0810-24): „Darstellung von Aufgaben der Prozessleittechnik – Fließbilder und Datenaustausch zwischen EDV-Werkzeugen zur Fließbilderstellung und CAE-Systemen (IEC 62424:2016)“; Deutsche Fassung EN 62424:2016.