

*Integrationsaspekte der Simulation:  
Technik, Organisation und Personal*  
Gert Zülch & Patricia Stock (Hrsg.)  
Karlsruhe, KIT Scientific Publishing 2010

# **Eine Automatische Modellgenerierung zur simulationsgestützten Planung und Optimierung von robotergesteuerten Fertigungsprozessen**

## ***Automatic Model Generation for the Simulation-Based Planning and Optimization of Robot-Controlled Production Processes***

Kristina Dammasch, Hans Kaupp, Michael Rabuser  
AUDI AG, Ingolstadt (Germany)  
kristina.dammasch@audi.de, hans-heinrich.kaupp@audi.de,  
michael.rabuser@audi.de

**Abstract:** Computer simulation can be used for analyzing and optimizing operation sequences of robot-controlled production processes and the effect of breakdowns and delays. However, due to the high complexity of the sequences and their frequent modification during the planning process, a manual implementation of a simulation model and its adjustments in corresponding detail is very time-consuming. For that reason, we would like to present an automatic model generation for simulating the operation sequence of these processes based on their cycle time diagram. This approach allows a fast and reliable estimation of the performance of the process and the mutual dependencies between involved resources. Different process designs and, if necessary, position and size of decoupling buffers can be evaluated to achieve the performance objectives.

## **1 Motivation und Rahmenbedingungen**

Die Methode der Ablaufsimulation kommt bei der AUDI AG in der Planung und betriebsbegleitenden Optimierung der Fahrzeugfertigungsprozesse zur Anwendung. Die Detailplanung der Arbeitsfolgen robotergesteuerter Fertigungsanlagen, z.B. innerhalb eines Schutzkreises im Karosserierohbau, erfolgt zurzeit jedoch ausschließlich auf statischer Basis. Neben dem Anlagenlayout wird dabei ein tabellarisches Taktzeitdiagramm erstellt, das die zeitliche Abfolge der einzelnen Prozessschritte aller Ressourcen, wie Roboter oder stationäre Werkzeuge, und deren logische Verknüpfung enthält. Die Arbeitsfolge wird in einem ressourcenorientierten Gantt-Diagramm visualisiert. Die Gesamtverfügbarkeit der Anlage wird auf Basis der technischen Verfügbarkeiten der Ressourcen statisch berechnet. Bei einfachen Fertigungsprozessen kann die Anlagenleistung auf Basis einer solchen Berechnung ausreichend zuverlässig abgeschätzt werden. Bei komplexen Prozessen

hingegen, in denen mehrere Roboter zueinander verriegelt und ihre Arbeitsfolgen stark voneinander abhängig sind (z.B. bei Schweißvorgängen durch mehrere Roboter in derselben Vorrichtung), kann die tatsächliche Anlagenleistung aufgrund möglicher gegenseitiger Aussperrungen bei Störungen oder anderen Abweichungen vom Regelablauf deutlich geringer sein. Das Ausmaß zeigt sich jedoch erst während der Inbetriebnahme. Dies hat zur Folge, dass die Anlage nachträglich solange angepasst werden muss, bis der Ablauf effizient funktioniert und der geforderte Durchsatz erreicht wird. Dies kann z.B. auch die Installation von zusätzlichen Vorrichtungen beinhalten, die in der ursprünglichen Planung nicht vorgesehen waren. So entsteht neben dem zeitlichen auch ein deutlicher finanzieller Mehraufwand.

Die zur Anlagen- und Prozessplanung eingesetzten Tools ermöglichen zwar eine Visualisierung der Fertigungsabläufe, können jedoch keine Verzögerungen im Prozess durch Störungen oder Wartungsarbeiten berücksichtigen. Eine Computersimulation kann genutzt werden, um solche Verzögerungen und deren Auswirkung auf den Gesamtprozess zu betrachten. Darüber hinaus kann die Simulation eine sinnvolle Positionierung und Dimensionierung von Entkopplungen innerhalb der Anlage unterstützen. Aufgrund der steigenden Komplexität der Prozesse und deren vielfache Modifikation während der Planung ist eine manuelle Modellerstellung und -aktualisierung jedoch sehr aufwändig. Aus diesem Grund möchten wir eine automatische Modellgenerierung (AMG) vorstellen, deren Fokus auf der Abbildung der Arbeitsfolgen aller Ressourcen liegt. Auf Basis des während der Planungsphase erstellten Taktzeitdiagramms wird dabei ein lauffähiges Simulationsmodell erzeugt, welches die Anforderung an den Detaillierungsgrad sowie die Möglichkeit zur Beurteilung von Verriegelungen und Abhängigkeiten erfüllt. Darüber hinaus sollen die Möglichkeiten für eine automatische Optimierung eines auf diese Weise abgebildeten Prozesses geprüft werden. Zu den Anforderungen an die Lösung gehört dabei auch, dass die Entwicklung im konzernweit eingesetzten Simulationstool Plant Simulation erfolgt, entwickelt von Siemens PLM Software. Weiterhin soll das in Microsoft Office Excel vorliegende Taktzeitdiagramm weitergenutzt werden, um den Aufwand für die Datenpflege und Fehler beim Datentransfer zu reduzieren.

## 2 Modellierungsansätze

Für gewöhnlich liegt bei den im Unternehmen durchgeführten Simulationen im Rahmen der Anlagenplanung der Fokus auf der Abbildung des Materialflusses und der Auslegung von Entkopplung zwischen verschiedenen Schutzkreisen. Dabei werden die beteiligten Ressourcen eines Schutzkreises zu einem abstrakten Objekt aggregiert und die Bauteile von Schutzkreis zu Schutzkreis bewegt. Die Verfügbarkeit des Schutzkreises wird anhand der einzelnen technischen Ressourcenverfügbarkeiten approximiert. Dies vernachlässigt jedoch die Reduzierung der Gesamtverfügbarkeit aufgrund möglicher Verriegelungen und Abhängigkeiten innerhalb der einzelnen Schutzkreise. Selbst bei einer Abbildung jeder Ressource als einzelnes Materialflussobjekt können Verriegelungen nur aufwändig, mithilfe zusätzlich zu implementierender Logiken, modelliert werden. Bei jeder Änderung im Prozessablauf müssen diese geprüft und gegebenenfalls umgeschrieben werden. Wenn man den Detaillierungsgrad bei der Modellierung weiter erhöht und für die Abbildung eines jeden Prozessschrittes, also eines jeden Eintrags im Taktzeitdiagramm, ein Objekt verwen-

det, ist die Modellerstellung und die Integration von Prozessänderungen sehr zeit- aufwändig. Für kurzfristige Analysen und die schrittweise Prozessentwicklung und -anpassung ist diese Vorgehensweise nicht praktikabel. Eine AMG wäre hier sinnvoll, steht für Plant Simulation im Unternehmen jedoch nur für Fördertechnikelemente oder Streckennetze und deren Steuerung zur Verfügung.

### 3 Datenbedarf für die Generierung

Das Taktzeitdiagramm in der bisher verwendeten Form umfasst Informationen zur ausführenden Ressource [Res], zur Benennung des Prozessschrittes [Name] und zu Startzeit [Start], Dauer [Dauer] und Ende [Ende] des Prozessschrittes innerhalb des Taktes in Sekunden. Um ein Simulationsmodell des Ablaufes erzeugen zu können müssen die Angaben für jeden Prozessschritt erweitert werden. Dies beinhaltet die Vergabe einer eindeutigen ID und die Definition der Abhängigkeiten über die Angabe von Vorgänger-IDs [VIDs]. Das sind die IDs aller Prozessschritte, die abgeschlossen sein müssen, damit der aktuelle Prozessschritt abgearbeitet werden kann. Zur Abbildung von Verzögerungen im Prozess sind darüber hinaus die Verfügbarkeit in Prozent und die mittlere Reparaturzeit in Sekunden [V], [MTTR] sowie Wartungsintervall und -dauer in Sekunden [WI], [WD] für jede Ressource anzugeben. Tabelle 1 zeigt ein vereinfachtes Taktzeitdiagramm mit beispielhaften Werten, welches den Schweißprozess zweier Roboter beschreibt. Es soll im weiteren Verlauf der Erläuterungen zur Veranschaulichung herangezogen werden.

ID	Res	Name	V	MTTR	WI	WD	VIDs	Start	Dauer	Ende
1	10R1	Drehen in Schweißposition	99.90	600				0.00	2.00	2.00
2	10R1	Schweißen 1 in OP10	99.90	600	500	20	1	2.00	25.00	27.00
3	10R1	Schweißen 2 in OP10	99.90	600	500	20	2	27.00	23.00	50.00
4	10R1	Entnehmen des Bauteils	99.90	600			3	50.00	5.00	55.00
5	10R1	Einlegen in Behälter	99.90	600			4	55.00	5.00	60.00
6	20R1	Schweißen 1 Teil 2 in OP20	99.90	600	500	20		0.00	24.00	24.00
7	20R1	Drehen zu OP10	99.90	600			6	24.00	3.00	27.00
8	20R1	Schweißen 2 in OP10	99.90	600	500	20	7	27.00	23.00	50.00
9	20R1	Drehen zu OP20	99.90	600			8	50.00	3.00	53.00
10	20R1	Schweißen 1 Teil 1 in OP20	99.90	600	500	20	9	53.00	7.00	60.00

**Tabelle 1:** Vereinfachtes Taktzeitdiagramm

Im dargestellten Prozess schweißt zu Beginn des Taktes zunächst Roboter 10R1, sobald er sich in der korrekten Schweißposition befindet, am Bauteil in Vorrichtung OP10 (ID 2). Gleichzeitig schweißt Roboter 20R1 am Bauteil in Vorrichtung OP20 (ID 6). Sobald diese Arbeiten beendet sind, dreht sich 20R1 zu OP10 und beide Roboter schweißen dort gleichzeitig (ID 3, ID 8). Dann dreht sich Roboter 20R1 zurück und startet erneut das Schweißen in OP20 (ID 10). Roboter 10R1 entnimmt das Bauteil aus OP10, dreht sich zu einem Behälter und legt es ein. Anschließend startet der Ablauf für den nächsten Takt von vorn. Die Plantaktzeit liegt bei 60 s.

Zur Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen den Prozessschritten ist zunächst für alle der laut Startzeit und Dauer jeweils vorangehende Schritt innerhalb der Ressource als Vorgänger anzugeben. Zusätzlich muss modelliert werden, dass beide Ro-

boter nur synchron in OP10 schweißen dürfen (ID 3, ID 8). D.h. dass der Schweißvorgang nur gestartet werden darf, wenn beide Roboter ihre Vorgängerprozessschritte abgeschlossen haben. Dies kann entweder per Hand eingetragen werden, was bei großen und komplexen Prozessen jedoch fehleranfällig ist, oder es kann automatisch vom Simulator während der Generierung ausgewertet werden. Dazu müssen die synchron auszuführenden Prozessschritte eindeutig und identisch benannt werden und dieselben Zeiten aufweisen. Als Ergebnis würden Schritt 3 zusätzlich alle Vorgänger von Schritt 8 zugewiesen werden und umgekehrt. Die jeweiligen Nachfolger würden nun sowohl 3 als auch 8 als Vorgänger haben.

Zur einfacheren Beobachtung dieser Abhängigkeit sollen die synchron auszuführenden Schritte durch die AMG direkt untereinander angeordnet werden. Dazu muss Prozessschritt 8 die ID 4 zugewiesen werden, alle Einträge im Taktzeitdiagramm entsprechend verschoben und die Angaben zu Vorgänger-IDs korrigiert werden. Das Ergebnis dieser Modifikationen ist in Tabelle 2 zu sehen. Neben dem dunkel gekennzeichneten Schweißvorgang beider Roboter in derselben Vorrichtung sind die erweiterten Vorgängerbeziehungen der Nachfolger 5 und 9 hell kenntlich gemacht.

ID	Res	Name	V	MTTR	WI	WD	VIDs	Start	Dauer	Ende
1	10R1	Drehen in Schweißposition	99.90	600				0.00	2.00	2.00
2	10R1	Schweißen 1 in OP10	99.90	600	500	20	1	2.00	25.00	27.00
3	10R1	Schweißen 2 in OP10	99.90	600	500	20	2, 8	27.00	23.00	50.00
4	20R1	Schweißen 2 in OP10	99.90	600	500	20	2, 8	27.00	23.00	50.00
5	10R1	Entnehmen des Bauteils	99.90	600			3, 4	50.00	5.00	55.00
6	10R1	Einlegen in Behälter	99.90	600			5	55.00	5.00	60.00
7	20R1	Schweißen 1 Teil 2 in OP20	99.90	600	500	20		0.00	24.00	24.00
8	20R1	Drehen zu OP10	99.90	600			7	24.00	3.00	27.00
9	20R1	Drehen zu OP20	99.90	600			3, 4	50.00	3.00	53.00
10	20R1	Schweißen 1 Teil 1 in OP20	99.90	600	500	20	9	53.00	7.00	60.00

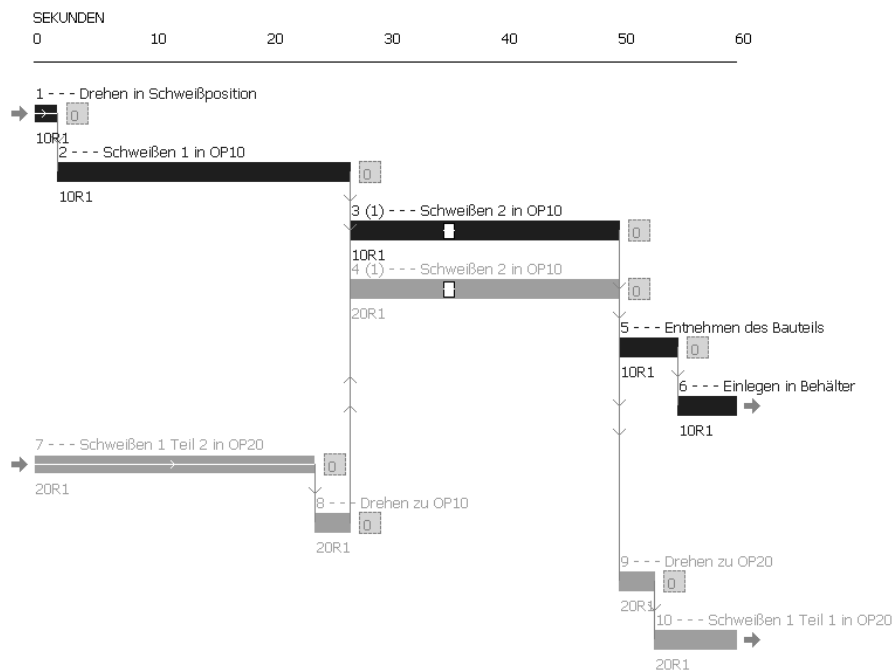
**Tabelle 2:** Durch AMG modifiziertes Taktzeitdiagramm

Im Taktzeitdiagramm ist weiterhin zu erkennen, dass für alle Schritte, die einen Schweißvorgang abbilden, Wartungsinformationen angegeben werden. Diese beschreiben, dass der Roboter, nachdem er für 500 s gearbeitet hat, den aktuellen Prozessschritt noch beendet und anschließend zur Wartungsposition verfahren muss. Nach Abschluss der Wartung wird mit dem folgenden Arbeitsinhalt fortgefahren. Die Verfah- und Wartungszeit ergeben zusammen die Wartungsdauer.

## 4 Die Automatische Modellgenerierung

Die AMG erzeugt aus den beschriebenen Informationen ein Simulationsmodell, das durch Verwendung horizontal ausgerichteter, längenorientierter Streckenobjekte das Gantt-Diagramm nachbildet. Strecken werden in Plant Simulation für gewöhnlich genutzt, um Straßen und sich darauf bewegende Fahrzeuge abzubilden. Bei der AMG wird die Länge der Strecke in Metern entsprechend der Länge des Prozessschrittes in Sekunden parametrisiert. Die vertikale Anordnung der Prozessschritte erfolgt auf Basis ihrer ID und die horizontale auf Basis ihrer Startzeit.

Auf den Wegen bewegen sich Fahrzeugobjekte, die die Funktionalität von Markern übernehmen und den aktuellen Fortschritt für den Prozessschritt kennzeichnen. Da die Länge des Weges der Bearbeitungsdauer in Sekunden entspricht, muss die Bewegungsgeschwindigkeit des Markers exakt 1 m/s betragen um die Bearbeitung dieses Prozessschrittes abbilden zu können. Abbildung 1 zeigt das generierte Modellnetzwerk in Plant Simulation für das in Tabelle 1 vorgestellte Taktzeitdiagramm. Die Marker sind als weiße Rechtecke zu erkennen. Während der Generierung wurde das Taktzeitdiagramm einer automatischen (oder auch nutzergesteuerten) Analyse unterzogen, um die synchron auszuführende Prozessschritte zu finden und ihre Abhängigkeiten anzupassen. Die Wartung wurde zunächst vernachlässigt.



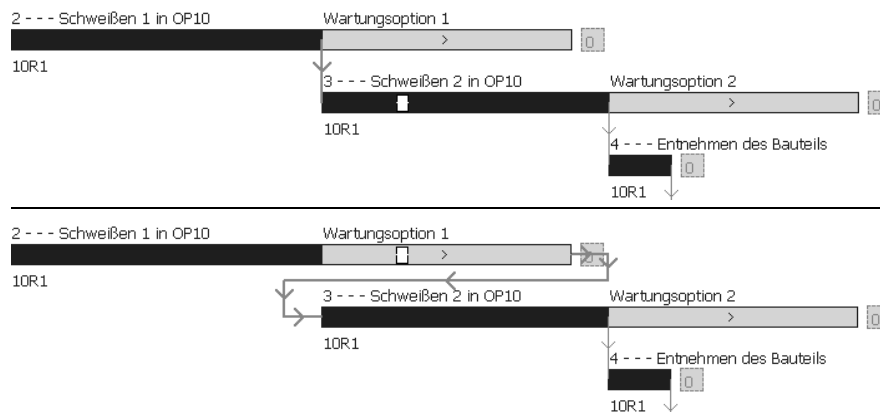
**Abbildung 1:** Generiertes Simulationsmodell mit synchronisierten Prozessschritten

Am oberen Rand des Modellnetzwerkes befindet sich eine Zeitleiste, die die Zeit in Sekunden markiert. Die Prozessschritte werden für jede Ressource farblich kodiert und anhand der definierten Vorgänger-IDs miteinander über Kanten verbunden. Darüber hinaus werden der Ressourcenname und ggf. weitere Informationen, wie ID, Name oder Vorgängerbeziehungen des Prozessschrittes, im Netzwerk angezeigt. Zusätzlich erzeugt die AMG virtuelle Puffer hinter den Prozessschritten, die zum Einen für die Simulationmethodik und zum Anderen für die Abbildung von möglichen Entkopplungen genutzt werden.

Zur Abbildung von Störungen wird die technische Verfügbarkeit einer Ressource ihrem ersten Prozessschritt zugewiesen. Bei einer Störung dieses Objekts müssen dann alle Schritte der zugehörigen Ressource gestört werden. Befindet sich ein Marker auf einem betroffenen Prozessschritt, wird er – wie ein Fahrzeug auf einem gestörten Weg – angehalten und bewegt sich erst nach Ende der Störung weiter. Hat der

Marker das Ende des Weges erreicht ist der Arbeitsinhalt abgeschlossen und die Nachfolger können, insofern sie und wiederum alle ihre Vorgängerprozessschritte bereit sind, bearbeitet werden. Darüber hinaus kann ein Arbeitszeitmodell für die abzubildende Anlage in der Simulation berücksichtigt werden. Dazu wird analog des Störungsmechanismus der erste Bearbeitungsschritt der Ressource einem Schichtkalender zugewiesen. Wird die Ressource pausiert, werden auch alle anderen Prozessschritte der Ressource pausiert und die Bearbeitung unterbrochen. Einflüsse und Arbeitszeitmodelle von Werkern werden vernachlässigt.

Wenn Wartungsabläufe berücksichtigt werden sollen und Angaben im Taktzeitdiagramm gemacht wurden, wird durch die AMG ein zusätzliches Objekt für jeden betroffenen Vorgang erzeugt, dessen Länge der Wartungsdauer entspricht. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Modell, hier separiert nur für Roboter 10R1.



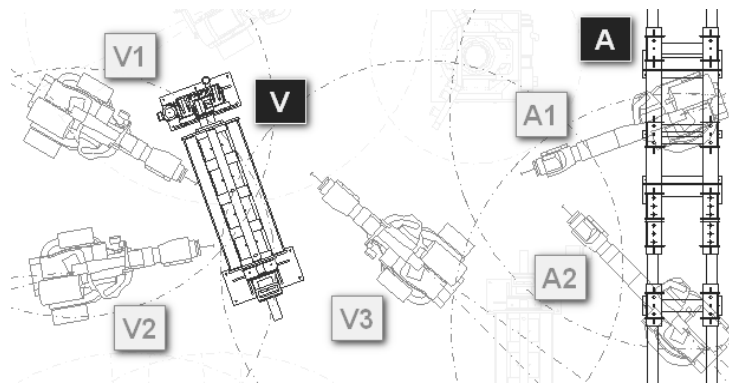
**Abbildung 2:** Modellierung und Ausführung von geplanten Wartungsarbeiten

Im oberen Abschnitt von Abbildung 2 ist der normale Prozessablauf ohne die Ausführung der Wartung zu sehen. Im unteren Abschnitt wird Wartungsoption 1 genutzt und die Wartungsarbeiten im Anschluss an Schweißen 1 durchgeführt, da der Roboter zu diesem Zeitpunkt mehr als 500 s geschweißt hat. Dazu werden automatisch alle betroffenen Kanten umgesetzt. Der Beginn des nächsten Schrittes verzögert sich um die Wartungszeit. Da die Roboter 10R1 und 20R1 nur gleichzeitig in OP10 schweißen dürfen muss in einem solchen Fall auch Roboter 20R1 (siehe Abb. 1) warten, bis die Wartungsarbeiten für Roboter 10R1 beendet sind. Nach Abschluss der Wartung werden die ursprünglichen Vorgängerbeziehungen wiederhergestellt.

## 5 Anwendung und Validierung

Zur Entwicklung und Validierung der AMG wurde das vorliegende Taktzeitdiagramm einer bereits in Betrieb genommenen Türenanlage um die genannten Informationen erweitert und daraus das Simulationsmodell generiert. Die Anlage besteht aus zwei Schutzkreisen, einer für die linke und einer für die rechte Tür, die vom Layout her gespiegelt zu einander angeordnet und durch einen zentralen Roboter miteinander verbunden sind. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus einem Schutzkreis des vereinfachten Anlagenlayouts. Die Besonderheiten der Anlage liegen in

der hohen Anzahl von Verriegelungen der Ressourcen untereinander und den Abhängigkeiten zwischen den Prozessschritten in den Schutzkreisen. So fahren z.B. die Roboter A1 und A2 auf derselben Achse (A), wobei einer der beiden die volle Länge der Achse ausnutzen muss und dadurch den zweiten Roboter bei einer Prozessverzögerung aussperren kann. An anderer Stelle arbeiten die Roboter V1, V2 und V3 gleichzeitig in derselben Vorrichtung (V). Dabei bleibt V3 nur ein Zeitfenster von wenigen Sekunden, um zur Vorrichtung zu drehen. Verpasst er dieses, schließen V1 und V2 ihre Schweißarbeiten vollständig ab und die Arbeiten von V3 können erst im Anschluss ausgeführt werden, was einen deutlichen Taktzeitverlust zur Folge hat. Für die Abbildung dieser speziellen Logik musste einmalig eine zusätzliche Steuerung im Modell implementiert werden, die – solange sich die Logik nicht ändert – dann jedoch für alle Simulationen des Prozesses gültig ist.



**Abbildung 3:** Ausschnitt aus dem Layout der untersuchten Türenanlage

In einem ersten Simulationsexperiment wurde der letzte Planungsstand vor der Inbetriebnahme simuliert und auf seine Ausbringung hin (Durchsatz und Gesamtverfügbarkeit) untersucht. Wie zu Beginn der realen Inbetriebnahme lag die simulierte Leistung bei 63 % und damit deutlich unter der statisch berechneten und geforderten Anlagenleistung von 85 %. Anschließend wurden verschiedene Prozessmodifikationen getestet, die während der Inbetriebnahme in der Anlage umgesetzt worden waren. Die gemessenen Leistungssteigerungen um jeweils wenige Prozent in der Realität konnten mit dem Simulationsmodell ebenfalls erzielt werden. Eine Optimierung des Ergebnisses über die Modifikation des Prozessablaufes ist jedoch in keinem Fall automatisiert möglich, da sie nur mit dem entsprechenden technischen Fachwissen bzgl. der zum Einsatz kommenden Fertigungsverfahren erfolgen kann.

Eine zweite Optimierungsmöglichkeit besteht in der Installation von Entkopplungspuffern innerhalb des Schutzkreises. Dazu muss ein erster Simulationslauf durchgeführt werden, in dem die Prozessschritte identifiziert werden, bei denen der Ablauf durch Abhängigkeiten verzögert wird. Allen virtuellen Puffern wird dabei zunächst eine unendliche Kapazität zugewiesen. Für solche, die während der Simulation dann auch tatsächlich gefüllt werden, kann in folgenden Experimenten iterativ, automatisiert oder teilautomatisiert, eine geeignete Kapazität ermittelt werden. Überraschend war jedoch, dass Entkopplungen in der vorgestellten Türenfertigung nur eine geringe Auswirkung auf die Anlagenleistung haben und eine Durchsatzsteigerung um nur wenige Prozent erbringen konnten. Für einfachere Taktzeitdiagramme, die

im Rahmen der Validierung simuliert wurden, konnte mithilfe der Entkopplungen die Prozessleistung auf den gewünschten Wert erhöht werden. Die vorgestellte Türenanlage enthält jedoch derart viele Abhängigkeiten über den gesamten Prozess, dass diese nur bedingt ausgeglichen werden können und stattdessen der Fertigungsablauf überdacht werden muss. Des Weiteren gab es für diesen komplexen Prozess die Besonderheit, dass sich Wartungsaktivitäten positiv statt negativ auf den erbrachten Durchsatz ausgewirkt haben. Durch sie war es dem Prozess möglich, Verzögerungen in anderen Bereichen aufzuarbeiten, wenn z.B. die Wartung für Roboter V1 oder V2 erfolgt, solange diese noch auf Roboter V3 warten.

Die Experimente haben gezeigt, dass eine automatische Optimierung nicht immer sinnvoll ist. Zum Einen muss jede Veränderung des Prozessablaufes gezielt vom Anlagenplaner entwickelt und bewertet werden. Zum Anderen kann eine Optimierung durch die iterative Positionierung und Dimensionierung von Entkopplungen über mehrere Simulationsläufe nur bedingt und nur für einfachere Abläufe erfolgreich sein. Bei hochkomplexen Fertigungsprozessen wird nur eine gezielte Kombination verschiedener Maßnahmen zu einer Prozessvariante führen, die die festgesetzten Leistungsanforderungen erfüllt. Tatsächlich lieferte bei der vorgestellten Türenanlage erst die Simulation des aktuell installierten Prozessablaufes die heute in der Produktion erzielten Stückzahlen.

## **6 Bewertung und Ausblick**

In diesem Paper wurde eine automatische Modellgenerierung für die Simulation von Arbeitsfolgen robotergesteuerter Fertigungsprozesse vorgestellt. Die implementierten Methodiken verarbeiten die eingelesenen Informationen und erzeugen ein lauffähiges Simulationsmodell, in welchem die Auswirkungen von Verriegelungen und Abhängigkeiten der Prozesse untereinander eindeutig visualisiert und bewertet werden können. So ist es möglich, Ursachen für mögliche Leistungsverluste schnell zu identifizieren und schon während der Planungsphase das Verständnis für den Fertigungsprozess und die Zusammenhänge zu fördern.

Indem die Methodiken nicht nur die Generierung des Modells sondern auch die Steuerungen zur korrekten Abarbeitung der Arbeitsfolgen enthalten, sind bei einer entsprechenden Aufbereitung der Eingabedaten nur geringe Modellierungskennnisse erforderlich, um das Simulationsmodell zu erzeugen. Das ermöglicht dem Prozessplaner während der Entwicklung des Taktzeitdiagrammes weitestgehend eigenständig verschiedene Prozess- oder Teilprozessabläufe sowie Auswirkungen von Verzögerungen zu untersuchen. Die Prüfung des Modells und die statistische Auswertung der Prozessleistung sollten jedoch durch den Simulationsingenieur erfolgen.

Da die Definition der Vorgängerbeziehungen im Taktzeitdiagramm aufwändig und fehlerbehaftet bleibt, wurden im Laufe der Entwicklungsarbeiten Richtlinien für die Taktzeitdiagramme definiert und zusätzliche Methoden im Simulator sowie externen Anwendungen implementiert, die den Anwender dabei unterstützen können. Letztlich ist jedoch auch dies nur eine vorläufige Lösung. Langfristig soll die vollständige Umstellung auf die in einem anderen Softwaretool gehaltenen Daten erfolgen, welches zukünftig im Unternehmen durchgängig zur Planung robotergesteuerter Fertigungsprozesse eingesetzt werden soll.