



**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

Siemens Digital Industries Software

# Simulation der Montage von Elektroniksyste<sup>m</sup>en

Nutzung von Simulation zur Optimierung  
von Durchsatz und Kosten bei  
Systemmontage und Arbeitszellen

## Kurzdarstellung

Die Montage von Elektroniksyste<sup>m</sup>en kann nur zu konkurrenzfähigen Preisen gelingen, wenn der Fertigungsprozess kontinuierlich verbessert wird. Mit Hilfe von Industrie 4.0 und Simulationswerkzeugen können Unternehmen der Fertigungsbranche ein hohes Maß an Abweichungen verarbeiten, Chargengrößen kontinuierlich verkleinern und Fluktuationen im Auftragsvolumen, die immer schwerer vorherzusagen sind, bewältigen. Der Begriff „Simulation“ steht für eine computerbasierte Modellierung des Ablaufs eines realen Prozesses oder Systems im Zeitablauf. Mit dieser Definition im Hinterkopf leuchtet schnell ein, warum Simulation in Engineering- und Industrieunternehmen allgegenwärtig ist; Es wird ein realer Prozess oder ein reales System imitiert, mit dem Experten den entsprechenden Prozess oder das System in einer kontrollierten Umgebung untersuchen können. Wie können wir die Fertigungssimulation zur Optimierung der Fertigung elektronischer Baugruppen einsetzen?

Jay Gorajia  
Siemens Digital Industries Software

Long Ting Chen und Stefan Krug  
Siemens Numerical Controls Ltd.

[siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

# Übersicht

Die Simulation ermöglicht es Unternehmen, Produktionsengpässe und Möglichkeiten zur Steigerung des Durchsatzes zu identifizieren, Kosteneinsparungsmöglichkeiten wie die Optimierung der direkten und indirekten Arbeit zu ermitteln, Lagerbestände zu verwalten und die erwartete Leistung neuer oder bestehender Produktionsanlagen oder Wertströme zu validieren. Die Fertigungssimulation besteht aus der Anlagen- und der Prozesssimulation. Mit der Anlagensimulation sind Studien von Materialflüssen, Engpassanalysen auf Flächen- und Linienebene, Bewegungsoptimierung, Bewegungssimulationen für fahrerlose Transportsysteme (FTS) und Studien zur Ressourcenoptimierung möglich. Die Prozesssimulation dient bei Studien von Prozessen und Vorgängen zur Optimierung der Ablauffolge von Vorgängen, zu Operationen von Robotern und kollaborativen Robotern („Cobots“), zur räumlichen Risikoanalyse, wenn sich Menschen in der Nähe von Robotern und Cobots befinden, und Ergonomiesimulation für optimale menschliche Bewegung. Die Simulation gewährleistet die Einhaltung von Methoden der schlanken Fertigung und die Vermeidung von Materialüberschuss. In diesem White Paper beantworten wir die Frage: Ist die Fertigungssimulation bei der Herstellung elektronischer Baugruppen anwendbar und effektiv?

Dieses White Paper erläutert die Entwicklung und Implementierung verschiedener Anwendungsfälle der Fertigungssimulation in einem Werk für elektronische Baugruppen in Nanjing, China. Dieses Werk verfügt über sechs SMT-Linien (Surface Mount Lines), ein großes Produktsortiment mit vielen Varianten sowie Großserienfertigung. Zudem verfügt es über ICT- (Integrated Circuit) und Systemtests, manuelle Montagestraßen, Softwareladestationen, Box Build-Zellen, Verpackung und Etikettierung, Verschiffung und Aftermarket-Services sowie Reparaturwerkstätten. Das ausgewählte Werk eignet sich hervorragend, um die Wirksamkeit der Fertigungssimulation zur Optimierung der Produktion in der Elektronikfertigungsumgebung zu testen. Wir beschreiben Anwendungsfälle, den gewählten Ansatz, KPIs (die zur Überwachung des Fortschritts verwendet werden), Änderungen, die an der Produktion vorgenommen werden sowie die Ergebnisse der theoretischen Simulation im Vergleich zu den tatsächlichen Werten. Wir erläutern auch, wie der digitale Zwilling der Fabrik und der Prozesse in zusätzlichen Anwendungsfällen, wie z. B. der Absatzplanung und Validierung von Schätzungen, eingesetzt werden kann. Schließlich veröffentlichen wir Ergebnisse, die als Beispiel dafür dienen können, wie andere Fabriken die Simulation zur Durchsatz- und Kostenoptimierung nutzen können, um auf ihrem Weg der Digitalisierung voranzukommen.

## Effizienz steigern

Der Zweck der Wertstromanalyse (VSM) besteht darin, Verschwendung in Wertströmen zu identifizieren und zu beseitigen oder zu reduzieren und dadurch die Effizienz eines bestimmten Wertstroms zu erhöhen. Die Abfallbeseitigung soll die Produktivität durch schlankere Abläufe erhöhen, wodurch Materialüberschuss und Qualitätsprobleme leichter zu erkennen sind. Typischerweise wird die Wertstromanalyse zur Visualisierung aller kritischen Schritte in einem bestimmten Prozess verwendet und quantifiziert die Zeit und das Volumen, die in jeder Phase benötigt werden. Wertstromkarten zeigen den Fluss beider Materialien, die Kapazitätsberechnungen und die damit zusammenhängenden Informationen, während sie den Prozess durchlaufen.

# Fertigungssimulation

Laut Wikipedia „ist eine Simulation eine ungefähre Nachahmung des Betriebs eines Prozesses oder Systems; sie stellt den Betrieb eines Prozesses oder Systems im Laufe der Zeit dar ... Eine Computersimulation (oder „Sim“) ist ein Versuch, eine reale oder hypothetische Situation auf einem Computer zu modellieren, so dass sie untersucht werden kann, um zu sehen, wie das System funktioniert. Durch die Veränderung von Variablen in der Simulation können Vorhersagen über das Systemverhalten gemacht werden. Sie ist ein Werkzeug, um das Verhalten eines Systems virtuell zu erkunden. Traditionell erfolgt die formale Modellierung von Systemen über ein mathematisches Modell, das auf analytischen Lösungen basiert. Damit soll das Verhalten des Systems anhand verschiedener Parameter und Anfangsbedingungen vorhergesagt werden. Die Computersimulation wird oft als Ergänzung oder Ersatz für Modellierungssysteme verwendet, für die einfache analytische Lösungen in geschlossener Form nicht möglich sind.“

Die meisten Fabriksimulationen werden in der Elektronikfertigung mit einer Kombination aus Modellen der Tabellenkalkulationssoftware von Microsoft Excel und anderer Software durchgeführt, um die Komplexität bei der Berechnung eines dynamischen Systems zu bewältigen. Die sich daraus ergebenden möglichen Szenarien lassen sich relativ gut einschränken. Typische Anwendungsfälle, die sich ideal für die Fertigungssimulation eignen, können u. a. folgende Fragen beantworten:

- Wie viel zusätzlicher Durchsatz würde mit einer weiteren Schicht oder Ressource erreicht werden?
- Wie viel zusätzlicher Durchsatz könnte durch das Hinzufügen weiterer Zellen, Stationen usw. erreicht werden?
- Gibt es einen Punkt, an dem es bezüglich der Kapazität und an den Stationen abnehmende Erträge gibt?

- Habe ich die bestmögliche Materialanlieferung für Station X oder Linie Y gewählt?
- Wie groß wird der Puffer, wenn ich die Fördergeschwindigkeit auf X setze? Führt es zu zusätzlichem Durchsatz?
- Ist die Verteilung der Teile in manuellen Montagezellen optimal für den erwarteten Durchsatz?
- Gibt es aufgrund ergonomischer Herausforderungen Engpässe in der Zelle für Komplettgerätebau? Herausforderungen beim Zugang zu Material
- Können wir die Qualität erhöhen, indem wir einen kollaborierenden Roboter an einer Station/Zelle aufstellen? Gibt es bei der Sequenzprogrammierung irgendwelche Risiken?

Der Prozess der Fertigungssimulation erfordert mehrere Schritte. Abbildung 1 skizziert einen typischen Arbeitsablauf.

## System definieren

Im Mittelpunkt jeder Simulationsstudie stehen das Zielobjekt und die Zielsetzung der Studie. Dabei kann es sich um eine manuelle Montagezelle, eine Fertigungsstraße, die gesamte Fabrik, den Materialfluss innerhalb eines Bereichs oder sogar um einen bestimmten Cobot an einer Station handeln.

## Prozesse analysieren

Die Analyse oder Charakterisierung des Systems, das im Mittelpunkt der Studie steht, bedarf einer Methodik. Wie bereits erwähnt, liegt der Zweck der Wertstromanalyse (VSM) darin, Verschwendung in Wertströmen zu identifizieren und zu beseitigen oder zu reduzieren und dadurch die Effizienz zu erhöhen. VSM wird zur Visualisierung aller kritischen Schritte in einem bestimmten Prozess verwendet und quantifiziert die

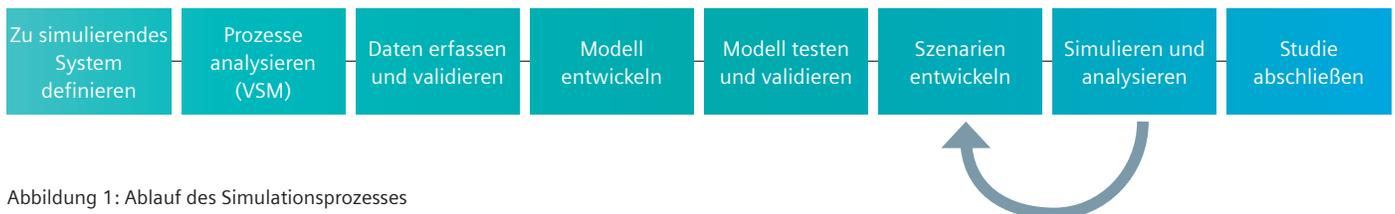


Abbildung 1: Ablauf des Simulationsprozesses

Zeit und das Volumen bzw. den Durchsatz, die in jeder Phase benötigt werden. Bei VSM handelt es sich um eine Technik für schlanke Fertigung. Sie dient der Analyse, Gestaltung und Verwaltung von Material- und Informationsfluss, die bis zur Lieferung eines Produkts an den Kunden erforderlich sind. VSM verwendet ein System von Standardsymbolen zur Darstellung verschiedener Arbeitsabläufe und Informationsflüsse.<sup>1</sup>

### Daten erfassen und validieren

Welche Daten erfasst werden sollten, hängt von den Zielen der Studie und dem zu untersuchenden System ab. Typischerweise erfasste Daten sind: Geschwindigkeit, Kapazität, Volumen, Durchsatz, Qualität, Anzahl der Einheiten in Puffern usw. Die Daten werden in einer Tabellenkalkulation erfasst, wobei Microsoft Excel oder ähnliche Tools zur Organisation der für die Analyse verwendeten Daten zum Einsatz kommen. Der Zweck der Datenerfassung und der Studie besteht darin, Prozesse zu optimieren und Abfall zu minimieren, um optimale Produktionskosten zu erreichen. Zu den allgemein definierten Abfallarten gehören<sup>2</sup>:

1. **Schneller als nötig:** Überproduktion von Waren oder Dienstleistungen, die dem Produktionsfluss, der Qualität und Produktivität schadet. Diese Überproduktion führt zu Verschwendung von Lagerraum und Vorlaufzeiten.
2. **Warten:** Zeiten, zu denen Güter nicht bearbeitet oder transportiert werden.
3. **Beförderung:** Der Prozess, durch den Waren bewegt werden. Als Transport bezeichnet, schließt dies doppelte Handhabung und übermäßige Bewegung ein.
4. **Verarbeitung:** Eine zu komplexe Lösung für ein einfaches Verfahren. Dies schließt eine unzweckmäßige Produktion ein, die als unsachgemäße Verarbeitung bezeichnet wird. Dies führt in der Regel zu mangelhaftem Layout, schlechter Kommunikation und unnötigen Bewegungen.
5. **Überschüssige Bestände:** Ein Überangebot an Beständen, das zu längeren Vorlaufzeiten, größeren Schwierigkeiten bei der Identifizierung von Problemen und hohen Lagerkosten führt.
6. **Unnötige Bewegung:** Ergonomische Verschwendung, die von den Mitarbeitern den Einsatz zusätzlicher Energie erfordert, wie z. B. das Aufheben von Gegenständen, Bücken oder Strecken. Dies wird als unnötige Bewegung bezeichnet und ist in der Regel vermeidbar.
7. **Korrektur von Fehlern:** Alle Kosten im Zusammenhang mit Mängeln oder den für deren Behebung erforderlichen Ressourcen.

Bei jedem Ansatz zur Festlegung der zu erfassenden Daten sollte neben den zur Analyse und Erstellung eines Simulationsmodells für das eigentliche Studienobjekt erforderlichen Daten auch die oben genannte potenzielle Verschwendung berücksichtigt werden.

### Modell entwickeln

Die Modellentwicklungsphase ist die Phase, in der die Vorteile der computergestützten Modellentwicklung und -visualisierung am offensichtlichsten sind. Den Anfang sollte die Festlegung und Eingabe des VSM einer Studie bilden. Anschließend ist die Ergebnistabelle innerhalb der Studie zu referenzieren. In diesem Stadium können Simulationen mit der Fertigungssimulationssoftware durchgeführt werden. Die meisten Fertigungssimulationen verwenden ereignisorientierte Simulationstechniken.

Eine ereignisorientierte Simulation (Discrete Event Simulation, DES) modelliert den Betrieb eines Systems als eine zeitlich diskrete Abfolge von Ereignissen. Jedes Ereignis tritt zu einem bestimmten Zeitpunkt ein und markiert eine Zustandsänderung im System. Zwischen aufeinanderfolgenden Ereignissen wird keine Veränderung des Systems angenommen; daher kann die Simulationszeit direkt auf den Eintrittszeitpunkt des nächsten Ereignisses springen, was nach der Definition von Wikipedia als Zeitverlauf des nächsten Ereignisses bezeichnet wird. In der realen Welt vergeht die Zeit kontinuierlich. Wenn Sie zum Beispiel die Bewegung eines Teils in einem Fördersystem beobachten, werden Sie keine Zeitsprünge feststellen. Die Zeit, die das Teil zum Durchlaufen des Systems benötigt, ist kontinuierlich, so dass sich als Kurve für die zurückgelegte Strecke eine gerade Linie ergibt. Ein DES-Programm hingegen berücksichtigt nur diejenigen Zeitpunkte (Ereignisse), die für den weiteren Verlauf der Simulation wichtig sind. Bei solchen Ereignissen kann es sich z. B. um den Eintritt eines Teils in eine Station, den Austritt aus der Station oder die Bewegung zu einer anderen Maschine handeln. Ein großer Vorteil von DES gegenüber der zeitorientierten Simulation (kontinuierliche oder Zeitschrittsimulation) ist die Leistungsfähigkeit. Da das Programm alle Zeitpunkte überspringen kann, die nicht von Interesse sind, ist es möglich, Jahre des Fabrikbetriebs in nur wenigen Minuten zu simulieren. Das ist besonders nützlich, wenn Sie verschiedene Konfigurationen desselben Systems simulieren und für jede Konfiguration mehrere Replikationen durchführen möchten.<sup>3</sup>

Für unsere Anwendungsfälle in diesem White Paper haben wir das Tecnomatix®-Portfolio verwendet, einschließlich des Tecnomatix Plant Simulation-Moduls und des Tecnomatix Process Simulate-Moduls von Siemens Digital Industries Software. Sie verfügen über die folgenden Fähigkeiten, die zur Erstellung der Analyse und der Ergebnisse genutzt wurden:

- Objektorientierte Modelle mit Hierarchie und Vererbung aller Informationen
- Offene Architektur mit Unterstützung mehrerer Schnittstellen
- 3D-fähige Visualisierung (unter Verwendung des Datenformats JT™)
- Bibliotheks- und Objektverwaltung

- Analyse und Visualisierung ereignisorientierter Simulation
- Ein genetischer Algorithmus zur Optimierung
- Energieverbrauchssimulation und -analyse
- Wertstromanalyse und Simulation
- Automatische Analyse der Simulationsergebnisse
- Schnelle Szenariodefinition und -iteration
- HTML-basierter Report Builder

Außerdem wurde für diese Studie das Modul Line Designer der Software NX™ eingesetzt, um die 2D- und 3D-Maschinen- und -Linienmodelle für die Visualisierung zu generieren. Da Tecnomatix Plant Simulation (Plant Simulation) und Tecnomatix Process Simulate (Process Simulate) genutzt werden können, um beliebige 2D- und 3D-Modelle mit der Standard-Modellierungssprache JT zu importieren, können auch andere Computer-Aided Design (CAD)-Tools verwendet werden. Laut Wikipedia ist JT (Jupiter Tessellation) ein 3D-Datenformat der International Organization for Standardization (ISO), das für Produktvisualisierung, Zusammenarbeit, CAD-Datenaustausch und manchmal auch zur langfristigen Datenspeicherung genutzt wird. Es kann eine beliebige Kombination von Näherungsdaten (facettierte Daten), Boundary Representation Surfaces (NURBS), Produkt- und Fertigungsinformationen (PMI) und Metadaten (textuelle Attribute) enthalten, die entweder aus dem nativen CAD-System exportiert oder durch ein Produktdatenmanagementsystem (PDM) eingefügt werden. Im Jahr 2012 wurde JT offiziell als ISO 14306:2012 veröffentlicht.

Die Modellierung der Fertigungssimulation und die verfügbare zugehörige Software ist eine ausgezeichnete Möglichkeit zur Analyse und Optimierung dynamischer Prozesse. Insbesondere dann, wenn keine mathematische Optimierung komplexer Systeme möglich ist und die Durchführung von Experimenten in realen Systemen zu teuer, zeitaufwändig oder gefährlich wäre, erweist sich die Simulation als leistungsfähiges Werkzeug. Ziel der Simulation ist es, die objektive Entscheidungsfindung durch dynamische Analysen zu unterstützen, damit Manager ihre Betriebsabläufe sicher planen und Kosten sparen können.

#### Szenarien entwickeln

Sobald eine Validierung der Simulationsergebnisse anhand realer Datensätze innerhalb einer akzeptablen Toleranz erfolgt ist, entwickeln wir die Studienszenarien. Die Szenarien enthalten die zu ändernden Variablen und die zu untersuchenden Ergebnisse. In einigen Fällen kann dies Folgendes umfassen:

- Testen einer unterschiedlichen Anzahl von Schichten
- Testen einer unterschiedlichen Anzahl von Ressourcen (Stationen, Bediener, Zellen usw.)
- Verschieben von FTF-Routen
- Ändern von Kanban-Standorten
- Hinzufügen/Entfernen von Assets
- Anpassungen der Geschwindigkeiten (Förderer, Materialausgabe usw.)
- Und vieles mehr

Durch die Iteration dieser Studienszenarien, die Überprüfung der Ergebnisse und Bereitstellung von Managementberichten können Simulationsstudien dem Unternehmen wichtige Vorteile verschaffen.

# Anwendbarkeit in der Elektronikfertigung

Die Studie und die zugehörigen Ergebnisse für dieses White Paper stammen von Siemens Numerical Controls Ltd. (SNC). Siemens Numerical Control Ltd. mit Sitz in Nanjing<sup>4</sup> wurde 1996 gegründet und ist ein Joint Venture zwischen Siemens und CNGC. Seit seiner Gründung hat sich SNC zu einem erstklassigen Anbieter von Fabrikautomatisierungs- sowie Werkzeugmaschinen systemen entwickelt. SNC entwickelt und fertigt numerische Steuerungssysteme, Antriebe, Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMI) und speicherprogrammierbare Steuerungen (PLC) für die speziellen Anforderungen von Kunden in China, Südostasien und anderen Märkten, die Qualitätsstandards auf Weltklassenniveau voraussetzen. SNC beschäftigt in den Fabriken in China etwa 1.300 Mitarbeiter und verfügt über eine Produktionsfläche von etwa 48.000 Quadratmetern (m<sup>2</sup>). Der Produktionsbereich besteht aus:

- Sechs SMT-Maschinen (Surface Mount Technology)
- Zwei Wellenlötanlagen
- Drei Multiwellenlötanlagen
- Sieben Ultraviolett (UV)-Beschichtungsmaschinen
- Mehr als 15 Montagelinien

## Anwendungsfälle für diese Studie

Für diese Studie wurden im Rahmen der Nutzung der Fertigungssimulation zur Verbesserung von Durchsatz und Kosten mehrere Anwendungsfälle identifiziert. Auf der Grundlage erster Studien, die in der Fabrik durchgeführt wurden, wurden drei Hauptbereiche identifiziert, in denen Verbesserungen vorgenommen werden sollten: 1) Kapazitätssimulation von Wellenlötanlagen, 2) Logistik-Materialflusssimulation und 3) Automatisierung eines UV-Beschichtungsroboters.

## Kapazitätssimulation einer Wellenlötanlage

SNC verfügt derzeit über fünf Wellenlötanlagen, die durch mehrere manuelle Bestückungslinien beschickt werden. In ihrem derzeitigen Modell finden Spitzenlasten, Fördergeschwindigkeiten, Kapazitätsabweichungen und einige andere Faktoren keine Berücksichtigung. Sie erfassen während der Produktion Daten und Analysen von den Faktoren. Tabelle 1 unten beschreibt die während des Untersuchungszeitraums prognostizierte Durchsatzmenge.

| Wellenstation | Menge         | Produkt             |
|---------------|---------------|---------------------|
| S1            | 7.241         | FSA F, FSB          |
| S2            | 9.811         | FSCDE               |
| S3            | 9.716         | FSAU                |
| S4            | 14.646        | V70, V90, FSAB      |
| S5            | 9.952         | V70, V90, FSCD, CBO |
| <b>Summe</b>  | <b>51.366</b> |                     |

Tabelle 1: Anfängliche Durchsatzprognose.

Abbildung 2 veranschaulicht die erstellte VSM anhand einer Beschreibung der Beschickung von manuellen Bestückungslinien und Wellenlötanlagen durch die verschiedenen SMT-Linien (Quellen).

Es war offensichtlich, dass die Produktionsziele nicht erreicht werden würden. Mithilfe der Simulationssoftware war das Team in der Lage, schnell zwei alternative Strategien (Szenarien) zu bestimmen, die entwickelt und getestet wurden. Die Ergebnisse der alternativen Szenarien sind in Abbildung 4 beschrieben.

Plant Simulation hat in den Simulationsergebnissen einen aktuellen Stand von 48.485 Einheiten, statt der prognostizierten 51.186 ausgegeben. Das Simulationsergebnis ist in Abbildung 3 sowohl für die Kapazität (Durchsatz) als auch für die Auslastung dargestellt.

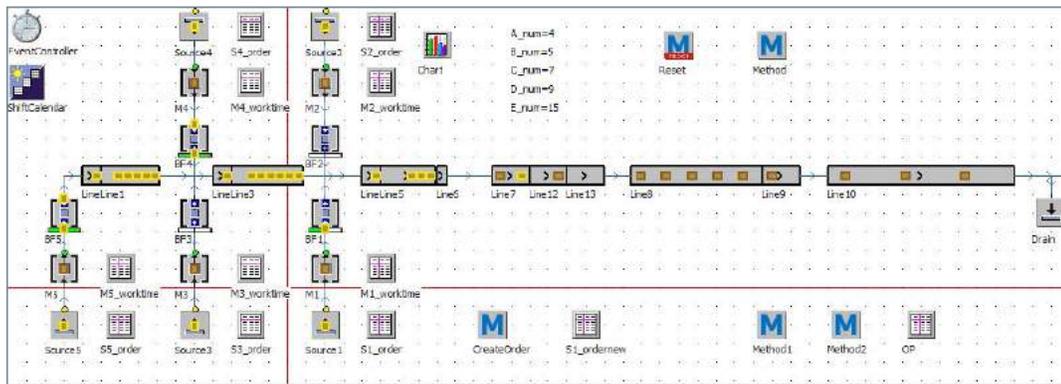
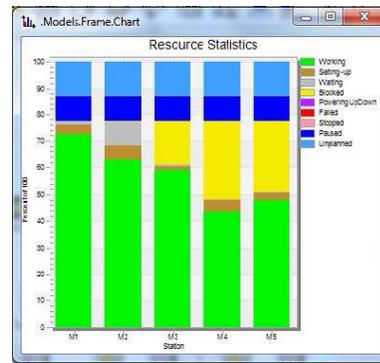
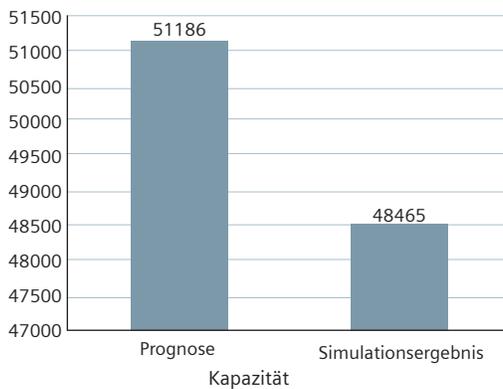


Abbildung 2: VSM für manuelle Bestückungslinien und Wellenlötprozess



Auslastung

Abbildung 3: Erste Simulationsergebnisse

| Herkömmlich      |         | Strategie 1      |         | Strategie 2      |         |
|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| Produkttyp       | Station | Produkttyp       | Station | Produkttyp       | Station |
| FSA F            | S1      | FSA F            | S3      | FSA F            | S3      |
| FSB              | S1      | FSB              | S3      | FSB              | S3      |
| FSA U            | S3      | FSA U            | S1      | FSA U            | S1      |
| FSCDE            | S2      | FSCDE            | S4      | FSCDE            | S2      |
| V70 V90 FSAB     | S4      | V70 V90 FSAB     | S2      | V70 V90 FSAB     | S4      |
| V70 V90 FSCD/CBO | S5      | V70 V90 FSCD/CBO | S5      | V70 V90 FSCD/CBO | S5      |

Abbildung 4: Definierte Studiensenarien.

Nach Eingabe beider Szenarien in die Simulationssoftware wurde das Ergebnis analysiert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt. Strategie 1 führte zum besten Durchsatz.

Zusätzlich zum Durchsatz sollte jedoch auch die Auslastung analysiert werden, um sicherzustellen, dass die Simulation die Faktoren für die beste Auslastung bzw. den besten Durchsatz bei den untersuchten Produkten offenlegt. Die Ergebnisse der Auslastungsanalyse werden in Abbildung 6 beschrieben.

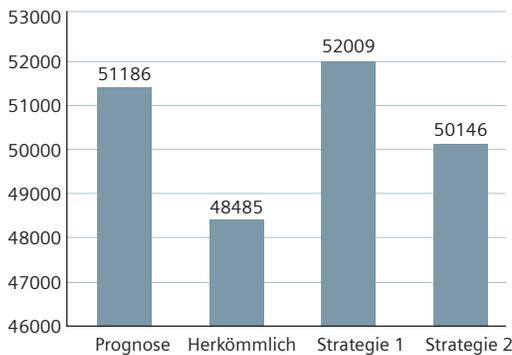
Als nächster Schritt stand die Validitätsprüfung der Simulation an. Unter Berücksichtigung von aktiven Produktionsumgebungen und Zeitplänen wurde ein Experiment durchgeführt. Eine reale Produktbestellung wurde in das Modell importiert, und das Simulationsergebnis wurde mit den tatsächlichen Ergebnissen verglichen. Innerhalb einer zweistündigen realen Produktionslaufzeit wurden Messungen

durchgeführt, die als Grundlage der berechneten Zeit pro Station in Tabelle 2 dienen.

Die Abweichung zwischen den Simulationsergebnissen und den tatsächlichen Zahlen war unerheblich. Bei einer der Stationen war sie erheblich, aber dennoch akzeptabel, da es sich um kleine Aufträge handelte. Verbesserungen an dieser Station wurden für die nächste Optimierungsphase vorgesehen.

Nach Validierung der Simulation befand das Team die Strategie eins für ideal geeignet. Die tatsächlich gemessenen Ergebnisse zeigten, dass Strategie eins das prognostizierte Ziel von 51.186 Einheiten erreichte.

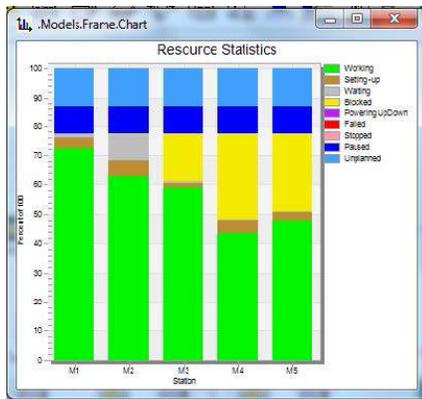
*Durch diese Studie wurde der Durchsatz verbessert und ein Simulationsmodell entwickelt, das für alle zukünftigen Auftragskombinationen verwendet werden kann.*



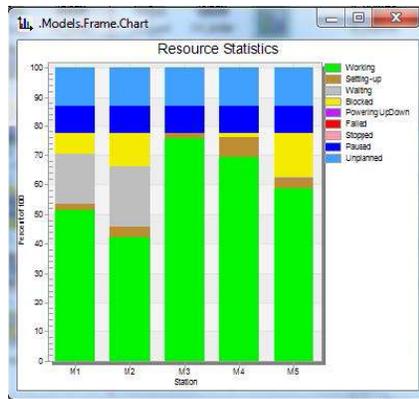
Ausführungszeit: 2 Stunden

| Position | Rahmennummer | ASE         | Arbeiter | CT(min) | Realität    | Simulation  |
|----------|--------------|-------------|----------|---------|-------------|-------------|
|          |              |             |          |         | Ausgabewert | Ausgabewert |
| M1       | 6            | A5E32947774 | 1        | 5,71    | 21          | 21          |
| M2       | 6            | A5E32986969 | 2        | 1,875   | 32          | 32          |
| M3       | 6            | A5E32947829 | 2        | 1,36    | 44          | 40          |
| M4       | 6            | A5E36066425 | 2        | 1,428   | 42          | 34          |
| M5       | 6            | A5E32947785 | 1        | 2,608   | 23          | 22          |

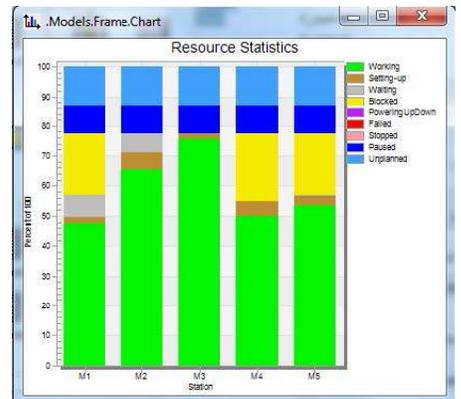
Abbildung 5: Ergebnisse der Simulation für Kapazität/Durchsatz. Tabelle 2: Tatsächliche Ergebnisse der Studie für die Wellenstation.



Herkömmlich



Strategie 1



Strategie 2

Abbildung 6: Ergebnisse der Simulation für Auslastung.

### Simulation des Logistikmaterialflusses

Bei der nächsten Studie handelt es sich um die Simulation von Materialfluss für die Position „Wasserspinnne“. Bei dieser Studie gilt es, zunächst das Konzept der Wasserspinnne zu verstehen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das Teile- und Material-Handling in einer Fabrikhalle zu organisieren. Eine interessante Option ist eine aus der schlanken Fertigung stammende Methode namens Wasserspinnne. Der Begriff „Wasserspinnne“ bezieht sich auf eine Person, deren Hauptaufgabe die Sicherstellung der Materiallieferung an den Bestimmungsort ist. Obwohl es in erster Linie um die Materialauffüllung geht, ermöglicht die Position bei guter Umsetzung mehr Flexibilität und einige zusätzliche Vorteile. Der Grund für die Beschäftigung einer solchen Person besteht in der Entlastung des übrigen Personals, welches sich dadurch voll und ganz Aufgaben im Prozess widmen kann, die dem Unternehmen einen Mehrwert bringen. Die Zuweisung an eine oder wenige Positionen macht auch deutlich, wie viel Transportverschwendung und Ineffizienz im Prozess steckt.

Für das ungeschulte Auge könnte eine Wasserspinnne wie eine frei schwimmende Spinnne wirken, die eine Vielzahl von Aufgaben erfüllt und darüber hinaus dafür sorgt, dass überall ausreichend Material vorhanden ist. Es kann leicht der Eindruck entstehen, dass es sich um eine weitgehend unregelmäßige Rolle handelt, was jedoch der Wahrheit diametral entgegensteht. Obwohl die Wasserspinnne für einen ungehinderten und ununterbrochenen Produktionsfluss zu sorgen hat, muss sie auch einem standardisierten Prozess folgen. Die Aufgabe der Wasserspinnne besteht nicht darin, durch ständige Improvisation

und übermäßige Flexibilität die Reaktionsfähigkeit zu erhöhen, sondern die Variabilität für alle anderen in der Produktion oder innerhalb des Prozesses zu minimieren. Einfach ausgedrückt, sorgt sie dafür, dass die Wertschöpfung der Arbeiten von Kollegen steigt und deren Aufgaben leichter standardisierbar und optimierbar werden.<sup>5</sup>

Da die Runden der Wasserspinnne zeitsensibel sind und ihr Timing standardisiert sein sollte, kann es vorkommen, dass zu viele Leerrunden auftreten. Diese Ineffizienz wird häufig übersehen bzw. vernachlässigt, sie sollte jedoch angegangen werden. Da die Hauptaufgabe der Wasserspinnne darin besteht, den gesamten Prozess am Laufen zu halten, ist Ineffizienz in kleinem Maß nicht verwunderlich. Denken Sie daran, dass die Optimierung des Systems im Mittelpunkt steht und nicht die Optimierung ihrer Zeit – eine gewisse Ineffizienz wird daher auftreten. Diese kann vertretbar sein, solange die Wasserspinnne zu einer Verbesserung der Gesamteffizienz beiträgt.<sup>5</sup>

Mithilfe der Software „Plant Simulation“ wurden das Layout, die VSM und verschiedene andere Daten gemessen und eingegeben, um ein Modell zum Testen mehrerer Szenarien zu erstellen. Es wurde ein bestimmtes Produktionsgebiet ausgewählt (G120 AA). In Abbildung 7 hat das Team die Parameter der Studie dargestellt. Von den Ergebnissen versprach sich das Management, die benötigte Mitarbeiterzahl und verschiedene Metriken bezüglich Laufentfernung, Kapazitätsanforderungen und Auslastungsanalyse besser bestimmen zu können und die Frage zu beantworten, ob der Nachschubplan die Produktionsprognose erfüllen kann.

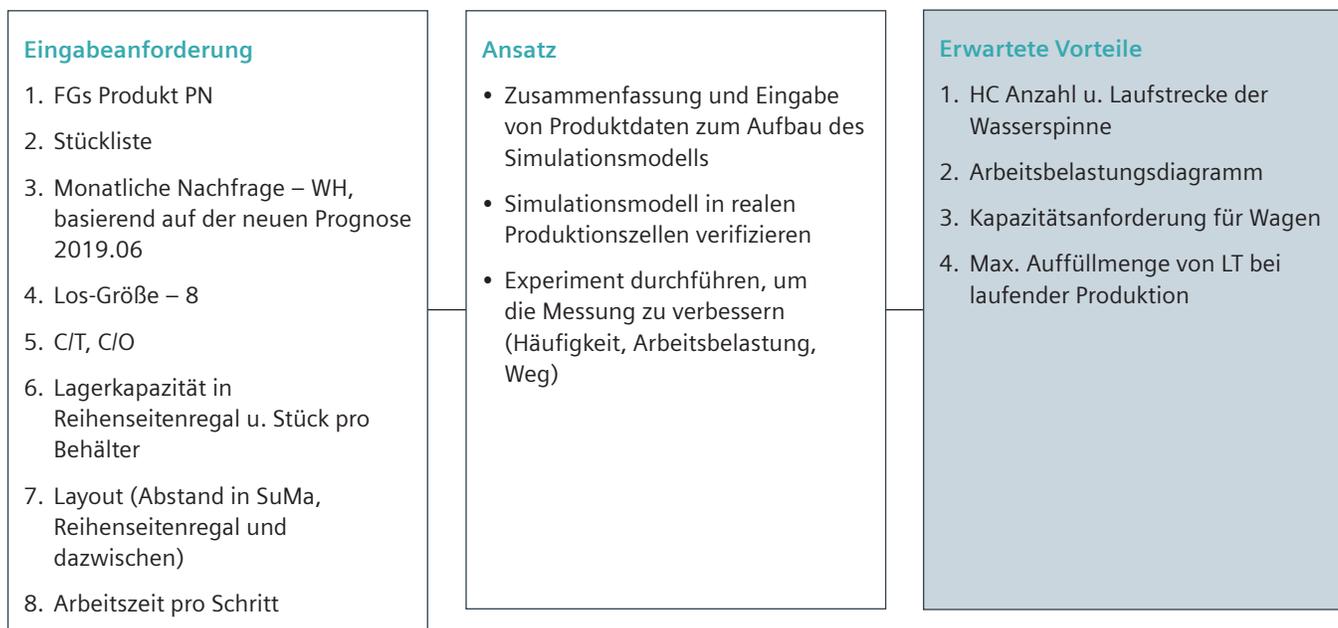


Abbildung 7: Parameter und Ansatz der Wasserspinnenanalyse.

Das Ziel bestand in der Einrichtung eines wiederverwendbaren Modells zur Berechnung und Bestimmung der Anzahl an Ressourcen zum Auffüllen von Material in der Produktionszelle. Das wichtigste von der Studie erwartete Ergebnis war die Angabe des Personalbedarfs auf der Grundlage der täglichen Produktionsprognose.

Abbildung 8 veranschaulicht die in der Simulationssoftware dargestellte Wertstromkarte. Da Plant Simulation konfigurierbare Logistik- und Wertstromobjekte enthält, lässt sich eine enorme Flexibilität für die Software und den Benutzer erreichen, indem diese Objekte in der VMS der Simulation einfach unbeschränkt definiert werden.

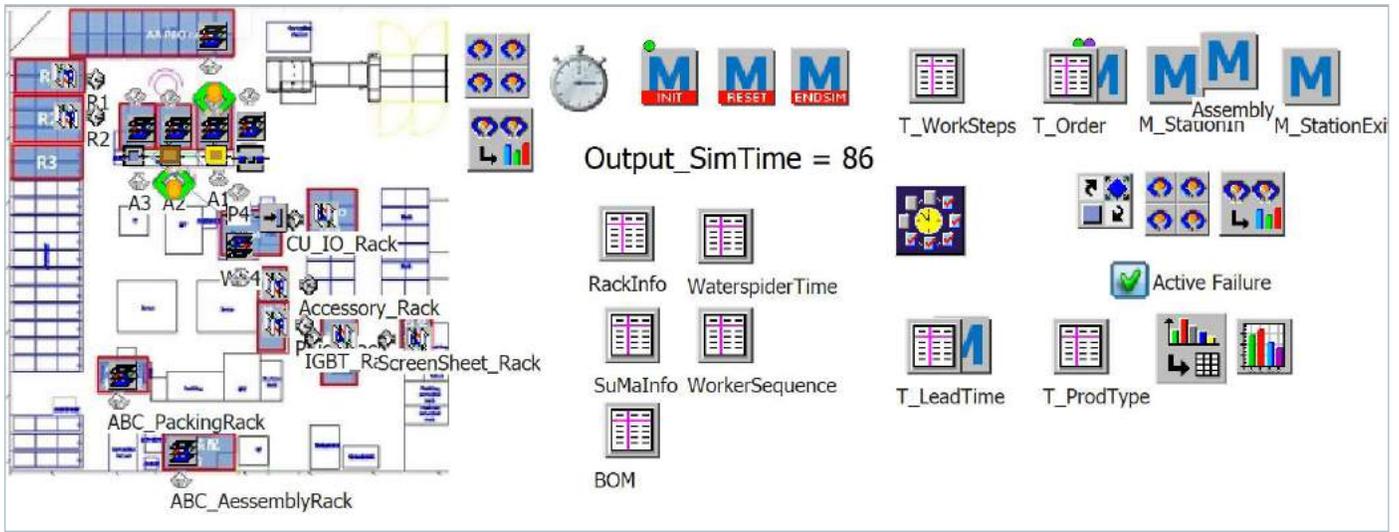


Abbildung 8: VSM für Wasserspinnne im Produktionsbereich G120AA

Neun Experimente wurden im Simulator unter Änderung von Anordnung, Abstand, Menge eines Behälters, Arbeitsfolge und anderen Faktoren durchgeführt. Die Ergebnisse der Experimente sind in Abbildung 9 unten dargestellt.

Das Ergebnis von Experiment 6 zeigte eine ideale Arbeitsfolge und Anordnung bei gleichzeitiger Minimierung der Gesamtstrecke, zudem war das Erreichen der Produktionsprognose sichergestellt. Bei den Produktionsläufen in der Studie wurde eine 25-prozentige Verbesserung festgestellt. Dieses Modell wird jetzt bei jeder Produktionsplanungssitzung verwendet, um die Anzahl der Wasserspinnen-Ressourcen zu minimieren und sicherzustellen, dass ihre Arbeitsfolge und -route optimiert werden, um die Produktionsprognose zu erfüllen und gleichzeitig Abfallkomponenten zu minimieren.

**Ergebnisse**

1. HC Anzahl u. Laufstrecke der Wasserspinne.
2. Arbeitsbelastungsdiagramm.
3. Kapazitätsanforderung für Wagen.
4. Max. Auffüllmenge von LT bei laufender Produktion.

|       | root.WaterspiderTime[2,1] | root.drain.statnumont |
|-------|---------------------------|-----------------------|
| Exp 1 | 10:00.0000                | 87                    |
| Exp 2 | 20:00.0000                | 87                    |
| Exp 3 | 30:00.0000                | 86                    |
| Exp 4 | 40:00.0000                | 86                    |
| Exp 5 | 50:00.0000                | 85                    |
| Exp 6 | 1:00:00.0000              | 85                    |
| Exp 7 | 1:10:00.0000              | 78                    |
| Exp 8 | 1:20:00.0000              | 68                    |
| Exp 9 | 1:30:00.0000              | 61                    |

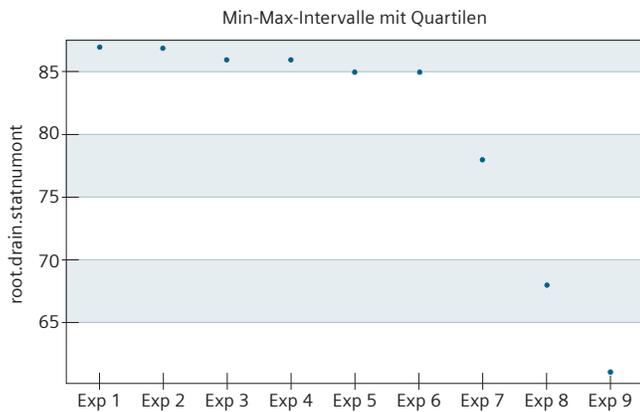
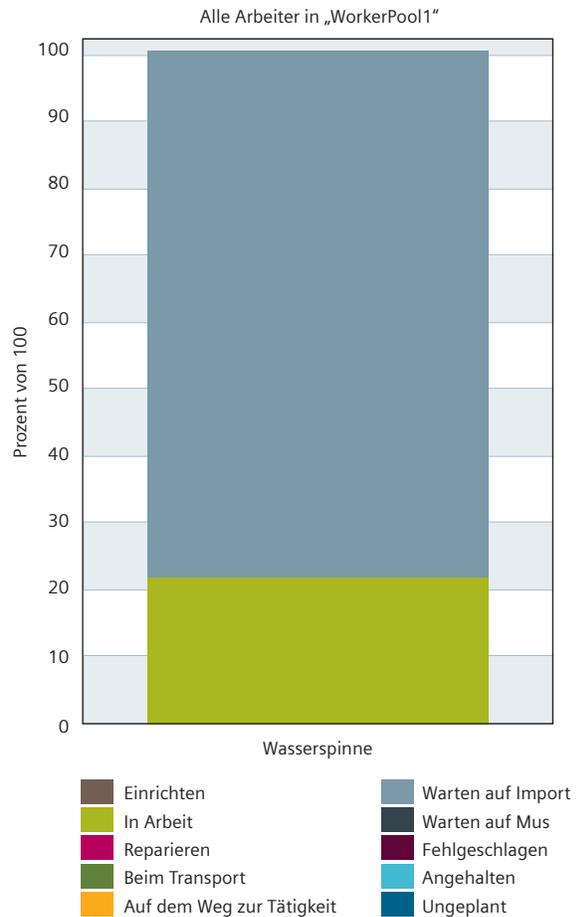


Abbildung 9: Ergebnisse der Wasserspinnen-Experimente.

**Simulation der Automatisierung des UV-Beschichtungsroboters**

Wie in Abbildung 10 dargestellt, kam eine automatisierte UV-Beschichtungszelle bei SNC zum Einsatz. Diese Zelle wurde auf der Grundlage der Empfehlung des Anbieters und einiger anfänglicher Layout- und MS Excel-basierter Zeitstudien eingerichtet. Da es sich um eine einzelne Zelle handelt, wurde die Optimierung eines einzelnen Prozesses mit der Software „Process Simulate“ vorgenommen. Process Simulate ist eine digitale Fertigungslösung zur Prozessverifizierung in einer 3D-Umgebung. Der Einsatz von Process Simulate ermöglicht es Fertigungsunternehmen, Fertigungskonzepte im Vorfeld virtuell zu validieren, was die Arbeitsfolgeplanung innerhalb einer Zelle, die Robotersimulation, die Cobot-Simulation und die Humansimulation und Ergonomieanalyse umfassen kann.

*Bei den Produktionsläufen in der Studie wurde eine 25-prozentige Verbesserung festgestellt.*



Die Simulation für diese Studie wurde mit Process Simulate unter Verwendung von 2D- und 3D-Visualisierungen durchgeführt, die in der CAD-Software NX von Siemens erstellt wurden. Jede CAD-Software, die das JT-Format (wie oben beschrieben) ausgeben kann, wird unterstützt.

Im ersten Schritt zur Erstellung der Simulation galt es sicherzustellen, alle Teile der Zelle zu identifizieren. Wie in Abbildung 10 dargestellt, werden die zugehörigen Positionen der menschlichen Arbeiter, ihre spezifische Ausrichtung und die Bewegung des Roboters modelliert.

Drei Hauptmodellierungsaktivitäten waren notwendig, um diese komplexe Umgebung zu simulieren:

1. Die Roboterbewegung.
2. Die Bewegungen des Personals.
3. Die Ablauf- und Zeitsimulation basiert auf der virtuellen Inbetriebnahme des Roboterprogramms (Rezept).

Der Roboter für die Aufnahme des fertigen Teils von einem der beiden Tische und Einführung in die Sprühmaschine wurde auf der Grundlage von Informationen des Roboterherstellers modelliert. Das Programm (Rezept) kann direkt in der Software erstellt oder in das Simulationsmodell importiert werden, so dass die tatsächliche Bewegung simuliert werden kann. Ein Beispiel für eine mögliche Umsetzung ist in Abbildung 11 beschrieben.

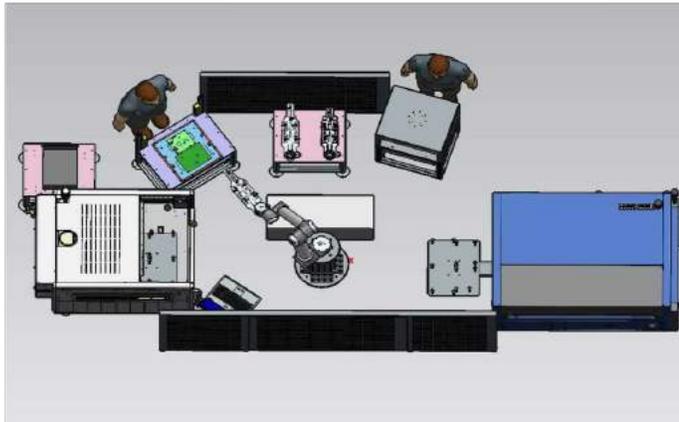


Abbildung 10: Simulationsmodell der UV-Zelle.



Abbildung 11

Die Modellierung menschlicher Bewegungen ist ebenfalls wichtig, da sich dadurch auch Effizienz und Geschwindigkeit der Faktoren optimieren lassen, die für ineffiziente Bewegung verantwortlich sind. Gleichzeitig wird die Sicherheit von Aktionen in der Nähe des Cobots erhöht (siehe Abbildung 12).

Abschließend kann das Roboterprogramm simuliert, modifiziert und in Betrieb genommen werden. Abbildung 13 beschreibt, wie dies bei SNC für die Ladevorrichtung des UV-Beschichtungsroboters durchgeführt wurde.

Bei SNC wurde der Roboter zusammen mit den Aktionen und Positionen der menschlichen Arbeiter simuliert. Das Modell wurde so definiert, dass es standardmäßig bei der Produktionsplanung zur Validierung und Simulation der Produktion einsetzbar ist. SNC hat nach der Einführung dieses Fertigungsprozesses folgende Verbesserungen realisiert:

- Geringerer Konstruktionsaufwand
- Weniger Debugging
- Kürzere Inbetriebnahmezeit

### 35 Prozent verbesserte Linienleistung

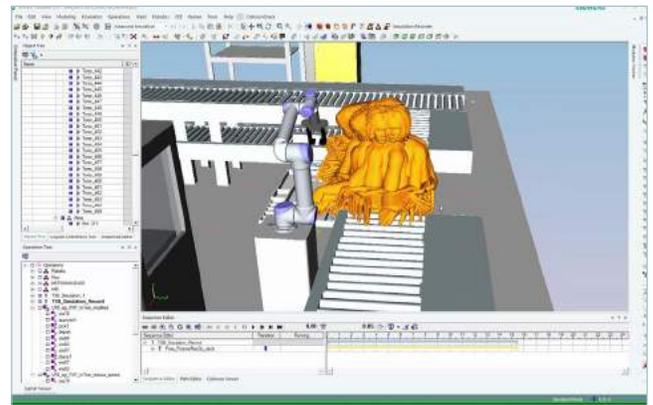
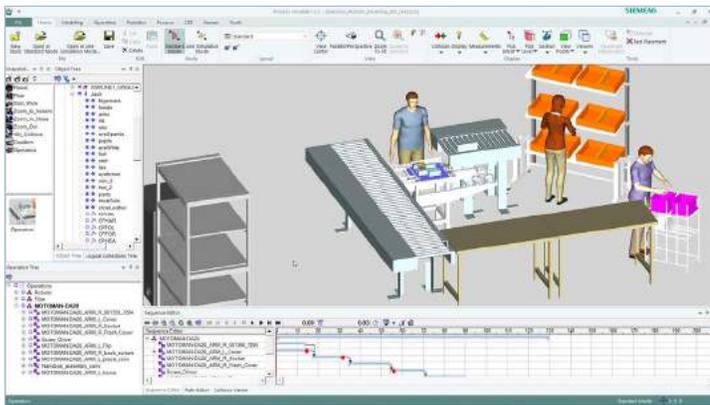


Abbildung 12

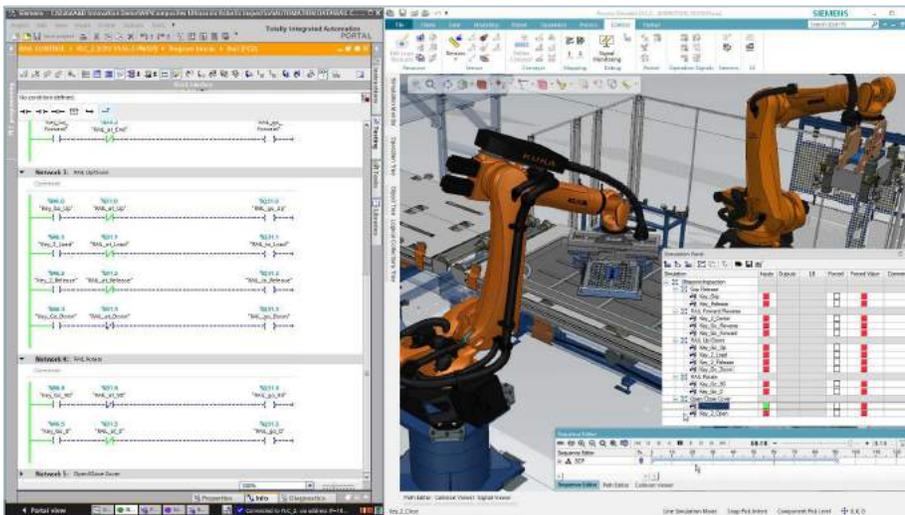


Abbildung 13

# Fazit

Dieses White Paper erläutert die Entwicklung und Implementierung verschiedener Anwendungsfälle der Fertigungssimulation bei Siemens Numerical Controls Ltd. in einem Werk für elektronische Baugruppen in Nanjing, China. Auf der Grundlage erster Studien, die in der Fabrik durchgeführt wurden, wurden drei Hauptbereiche identifiziert, in denen Verbesserungen vorgenommen werden sollten: 1) Kapazitätssimulation von Wellenlötmaschinen, 2) Logistik-Materialflusssimulation und 3) Automatisierung eines UV-Beschichtungsroboters. Das für die Wellenlötmaschinen entwickelte und getestete Modell wird nun in der Produktionsplanung und -prognose sowie in den zugehörigen täglichen Planungsbesprechungen verwendet, um die Reihenfolge und Produktzuordnung besser zu gestalten. Im Projekt zur Analyse der Wasserspinne konnten Produktionsplaner und Fertigungsingenieure die optimale Anzahl der Wasserspinnen-Ressourcen, ihre Arbeitsfolge und den gesamten zurückgelegten

Weg bestimmen und dadurch sicherstellen, dass die Produktionsprognosen eingehalten werden. Für den Zeitraum der Fallstudie verzeichnete das Team eine 25-prozentige Verbesserung. Schließlich haben wir beschrieben, wie auf Zellenebene die Roboterbewegung und deren Programmierung in Kombination mit menschlicher Bewegung und Ergonomie simuliert wurde und eine 35-prozentige Verbesserung der Linienleistung erreicht werden konnte.

Die Fertigungssimulation ist nicht länger nur spezialisierten Ingenieur- und Industrieunternehmen vorbehalten. Automobil-, Luft- und Raumfahrtbranche und große Maschinenbauer sind nicht die einzigen Nutznießer der Fertigungssimulation. Auf Grundlage der in diesem White Paper aufgezeigten Erkenntnisse werden die Nutzeffekte für Unternehmen der Elektronikfertigung sehr deutlich - insbesondere bei der Optimierung des Produktionsdurchsatzes und der Kosten.

## Referenzen

1. Rother, Mike; Shook, John (1999). „Learning to See: value-stream mapping to create value and eliminate muda.“ Brookline, Massachusetts: Lean Enterprise Institute. ISBN 0-9667843-0-8.
2. Hines, Peter; Rich, Nick. (1997). „The seven value stream mapping tools.“ *International Journal of Operations & Production Management*. 17. 46-64. 10.1108/01443579710157989.
3. Mes, Martijn R.K. (26.07.2017). „Simulation Modelling using Practical Examples,“ [www.utwente.nl/en/bms/iebis/staff/mes/plantsimulation/tutorialplantsimulation13v20170726.pdf](http://www.utwente.nl/en/bms/iebis/staff/mes/plantsimulation/tutorialplantsimulation13v20170726.pdf)
4. [w1.siemens.com.cn/press/NewsDetail\\_en.aspx?ColumnId=9&ArticleId=6906](http://w1.siemens.com.cn/press/NewsDetail_en.aspx?ColumnId=9&ArticleId=6906)
5. [www.shmula.com/what-is-the-role-of-the-waterspider-in-lean-manufacturing/22565/](http://www.shmula.com/what-is-the-role-of-the-waterspider-in-lean-manufacturing/22565/)

## Siemens Digital Industries Software

### Hauptsitz

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 972 987 3000

### Nord-, Mittel- und Südamerika

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 314 264 8499

### Europa

Stephenson House  
Sir William Siemens Square  
Frimley, Camberley  
Surrey, GU16 8QD  
+44 (0) 1276 413200

### Asien-Pazifik

Unit 901-902, 9/F  
Tower B, Manulife Financial Centre  
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong  
Kowloon, Hong Kong  
+852 2230 3333

## Über Siemens Digital Industries Software

Siemens Digital Industries Software fördert die Transformation von Unternehmen auf ihrem Weg in Richtung „Digital Enterprise“, in dem Engineering, Fertigung und Elektronikdesign bereits heute den Anforderungen der Zukunft entsprechen. Unsere Lösungen unterstützen Unternehmen jeder Größe bei der Entwicklung digitaler Zwillinge, die ihnen neue Einblicke, Möglichkeiten und Automatisierungsgrade bieten, um Innovationen voranzutreiben. Weitere Informationen über die Produkte und Leistungen von Siemens Digital Industries Software finden Sie unter [siemens.com/software](https://www.siemens.com/software) oder folgen Sie uns über [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) und [Instagram](#). Siemens Digital Industries Software – Where today meets tomorrow.

[siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

© 2020 Siemens. Eine Liste wichtiger Warenzeichen von Siemens findet sich [hier](#). Alle anderen Marken sind Eigentum der jeweiligen Inhaber.

81426-82610-C8-DE 10/20 LOC