

## **Anwendung von Materialflusssimulation in der Solarindustrie**

HARRY KESTENBAUM, ILKA HABENICHT und ANDREAS MANZ, SimPlan AG

### **1 Einleitung**

In den letzten Jahren hat sich die Simulation als eine wichtige Methode zur Untersuchung von Produktions- und Logistikprozessen etabliert (vgl. [Wen09]). Dabei wird sie entsprechend der Definition in [VDI00] eingesetzt: „Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“

Mit Hilfe der Simulation können dynamische Zusammenhänge einzelner Prozesse bzw. des Gesamtprozesses einer Produktion untersucht werden. Sie findet inzwischen in allen Phasen der Planung und Realisierung der Produktions- und Logistikprozesse Anwendung (vgl. [Böh04], [Wen09]).

Auch im Bereich der Photovoltaik hat die Simulation in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Sie wird inzwischen in allen Bereichen entlang der Wertschöpfungskette, d.h. der Silizium-, Wafer-, Zell- und Modulherstellung, eingesetzt. Zentrale Aufgabenstellung ist dabei die Untersuchung des Produktionsprozesses hinsichtlich des Durchsatzes und der Durchlaufzeiten. Durch die Simulation können beispielsweise Engpässe bereits in der Phase der Anlagenplanung identifiziert werden. In diesem Beitrag werden typische Anwendungen der Materialflusssimulation in der Photovoltaikindustrie beschrieben. Schwerpunkt bilden die Zell- und Modulfertigung. Außerdem werden spezielle Herausforderungen an die Simulation im Bereich der Photovoltaikindustrie erörtert.

Der Aufbau des Beitrags ist wie folgt: Im nächsten Kapitel wird ein Überblick über den Stand der Technik der Simulation in Produktion und Logistik gegeben. Anschließend werden typische Aufgabenstellungen für die Materialflusssimulation in der Solarindustrie beschrieben. Es wird diskutiert, wie sich die Entwicklungen im Bereich der Simulation in der Solarindustrie gestalten. Diese werden anhand einer typischen Fallstudie aus dem Bereich der Modulfertigung vertieft. Der Artikel schließt mit einer kurzen Zusammenfassung.

### **2 Entwicklungen der Simulation in Produktion und Logistik**

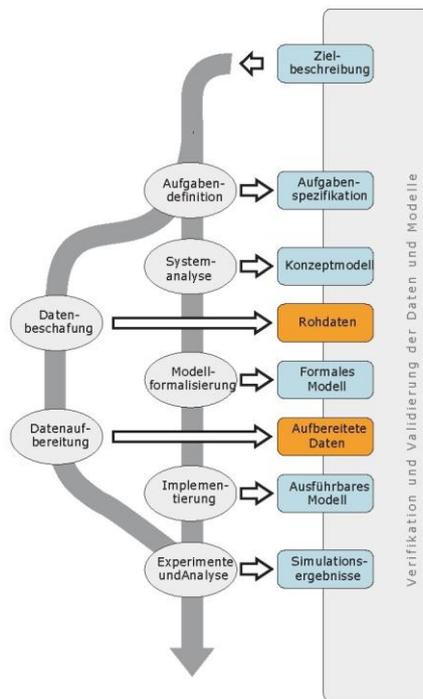
Die Simulation ist in vielen Industriezweigen eine anerkannte Methode für die Untersuchung von Produktions- und Logistikprozessen. Diese Entwicklung ist auch an der großen Anzahl von Simulationswerkzeugen erkennbar, die sich zurzeit am Markt befinden. Eine umfassende Übersicht der Werkzeuge ist in [Wen09] aufgeführt.

Aktuell lassen sich im Bereich der Simulation in Produktion und Logistik folgende Entwicklungen identifizieren (vgl. [WBJ10]):

- Weiterentwicklungen im Rahmen der digitalen Fabrik,
- Verbesserung der Qualität der Simulationsstudien,
- Entwicklung von Anwendungssystemen zur Unterstützung der Simulationsaufgaben.

Die Digitale Fabrik stellt ein Netzwerk digitaler Modelle für alle Bereiche einer realen Fabrik bereit. Dieser Grundgedanke ist mit einer durchgehenden Datenintegration verbunden (vgl. [VDI08]). Die Simulation ist ein Bestandteil in dem Netzwerk der digitalen Modelle. In diesen Kontext ordnen sich vor allem die Arbeiten zur automatischen Modellgenerierung aus CAD-Daten oder Arbeitsplänen ein (vgl. [LSc95], [LSR08]). Ziel ist die Reduzierung des Modellierungsaufwands.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Simulation ist die Verbesserung der Qualität der Simulationsergebnisse. Diese Ergebnisse sind die Grundlage für Planungs- und Steuerungsentscheidungen im Produktions- oder Logistikprozess. Aus diesem Grund ist eine Absicherung der Qualität der Simulationsergebnisse ein wichtiger Schwerpunkt vieler Arbeiten. Ein grundlegendes Hilfsmittel sind dabei Vorgehensmodelle für die Durchführung der Simulationsstudien, die beispielsweise durch die ASIM (Arbeitsgemeinschaft Simulation in der Gesellschaft für Informatik) entwickelt wurden (vgl. Abbildung 2-1). In [WWC+08] werden Qualitätskriterien zur Bewertung von Simulationsstudien diskutiert. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Gültigkeit der Simulationsmodelle für eine gegebene Aufgabenstellung. Rabe et al. stellen in [RSW08] verschiedene Methoden für die Validierung und Verifikation vor. Es wird gezeigt, dass die Validierung und Verifikation in allen Phasen eines Simulationsprojektes wichtig ist.



**Abbildung 2-1:** Vorgehensmodell nach [RSW08]

Eine effiziente Abwicklung der Simulationsprojekte und die Gewährleistung der Gültigkeit der Simulationsergebnisse für die Aufgabenstellung einer Simulationsstudie motiviert auch die dritte Entwicklungsrichtung im Rahmen der Simulation. Die Bereitstellung der Daten, die Definition der Szenarien und die Auswertung der Ergebnisse sind bei der Durchführung von Simulationsstudien mit großem Aufwand verbunden. Aus diesem Grund hat sich beispielsweise das Forschungsprojekt AssistSim mit der Entwicklung von Anwendungen für die Definition faktorieller Experimente und die Auswertung der Simulationsergebnisse beschäftigt (vgl. [LPT+12]).

### **3 Problemstellungen der Photovoltaikindustrie**

In den letzten Jahren hat die Photovoltaikindustrie in Deutschland ein rasantes Marktwachstum erlebt. Diese Entwicklung gründet unter anderem auf den hohen Einspeisevergütungen auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in Deutschland. Diese Vergütungen werden in den kommenden Jahren aufgrund einer Novellierung des Gesetzes sinken. Bereits in den vergangenen Jahren sind die Preise für Photovoltaikmodule gesunken. Dieser Trend führt bei den Herstellern zu dem Druck, die Kosten für die Produktion zu senken. Neben der technologischen Weiterentwicklung der Module bzw. Anlagen für ihre Fertigung ist eine gute Planung der Fertigungsanlagen hinsichtlich des Durchsatzes ein wichtiger Aspekt für die Reduzierung der Produktionskosten.

Die Simulation kann dabei in allen Bereichen entlang der Wertschöpfungskette genutzt werden. Schwerpunkt dieses Beitrags ist die Zell- bzw. die Modulfertigung. Hier wird die Simulation vor allem für die Planung neuer Fertigungsanlagen eingesetzt. In der Regel sind die Anlagelieferanten verpflichtet, die Anlagen für einen vorgegebenen Gesamtdurchsatz auszulegen und diesen auch nachzuweisen. Der Durchsatz einer Anlage wird als Gesamtnennleistung der in einem Jahr produzierten Zellen bzw. Module gemessen. Es gibt aber ebenso Spezifikationen über den Ausbringungstakt.

Die Herstellung der Solarzellen bzw. Module erfolgt in mehreren Schritten. Die Fertigungsanlagen zeichnen sich durch einen hohen Automatisierungsgrad aus. Dabei sind die einzelnen Fertigungsstufen über Fördertechnik miteinander verbunden. Die Fertigungsprozesse haben in der Regel eine lineare Struktur. Zwischen den Fertigungsstufen befinden sich an verschiedenen Stellen Puffer, die oftmals als LIFO-Puffer (Last In - First Out) strukturiert sind. Abweichend gibt es Teil- oder Gesamtprozesse, die in Form eines Förder- oder Werkstückträgerkreislaufes organisiert sind. Hier ist die Implementierung eines zentralen Speichers mit wahlfreiem Zugriff möglich.

Bei beiden Anlagenkonzepten muss dabei beachtet werden, dass zwischen bestimmten Fertigungsstufen eine maximale Durchlaufzeit eingehalten werden muss, da ansonsten eine Nacharbeit erforderlich ist oder die Zellen bzw. Module nicht mehr brauchbar sind. Die Nacharbeit erfolgt in der Regel an Handarbeitsplätzen. Die Handarbeitsplätze können in die Linie integriert sein. Alternativ gibt es definierte Punkte in der Linie, an denen aus- bzw. eingeschleust werden kann.

Typische Zielstellungen der Simulation sind der Nachweis des Durchsatzes einer Gesamtanlage bzw. die Ermittlung der Gesamtverfügbarkeit. Die Gesamtverfügbarkeit wird durch die Verfügbarkeiten der Stationen der Fertigungsstufen und der Fördertechnikelemente beeinflusst, d. h. notwendige Wartungsmaßnahmen bzw. Häufigkeit und Dauer von Störungen sowie die NIO-Raten, d. h. die Raten für Ausschleusen und Nacharbeit. Weitere Zielstellungen der Simulation sind:

- Ermittlung der Schwankung des Durchsatzes über den Gesamtzeitraum,
- Bestimmung der Auslastung der Stationen, insbesondere der Handarbeitsplätze,
- Bestimmung der Engpässe innerhalb des Fertigungsprozesses,
- Ermittlung der Anzahl erforderlicher Stationen in den Fertigungsstufen,
- Ermittlung erforderlicher Pufferstandorte und -größen im Prozess,
- Untersuchung alternativer Steuerungskonzepte für den Fertigungsprozess.

Die Materialflusssimulation steht trotz der Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten auch in der Photovoltaikindustrie vor der Herausforderung, dass die Projekte mit einer sehr begrenzten Laufzeit abgearbeitet werden müssen. Das bedeutet, dass die Aufgaben Datenbereitstellung, Modellierung bzw. Durchführung und Auswertung der Experimente effizient gelöst werden müssen. Die Simulation in der Photovoltaikindustrie steht den gleichen Herausforderungen gegenüber wie sie für die Simulation in Produktion und Logistik allgemein beschrieben wurden. In der Photovoltaikindustrie lassen sich somit drei maßgebliche Entwicklungen verzeichnen:

- Bereitstellung standardisierter Verfahren für die Datenbereitstellung,
- Entwicklung von Bausteinkästen für die Modellierung, anwendbar auf verschiedene Fertigungstechnologien,
- Bereitstellung von Tools für die Unterstützung der Auswertung der Simulationsläufe.

Für die Simulation einer Fertigungsanlage werden prinzipiell folgende Eingangsdaten benötigt:

- Layout der Anlage,
- Technische Daten der Fördertechnik (Förderer, Umsetzer, Roboter usw.),
- Taktzeiten der Stationen der Fertigungsstufen bzw. Verteilungsfunktionen der Zeiten der Handarbeitsplätze,
- Spezifikation der Wartung der Stationen,
  - Wartungsintervalle,
  - Wartungsdauer,
- Spezifikation der Ausfälle von Stationen bzw. Fördertechnik,
  - MTBF (Intervall zwischen zwei Störungen),
  - MTTR (Wiederherstellungsintervall),
- Puffergrößen,
- Begrenzung der Durchlaufzeiten zwischen Fertigungsstufen,

- Nacharbeits- und Ausschleusquoten,
- Leistungsklassen der Zellen bzw. Module (Verteilung und Nennleistung).

Solche Daten werden in einer Datenbank mit einem einheitlichen Datenbankschema bereitgestellt. Für das Einlesen in das Modell ist dabei entscheidend, dass die Verknüpfung zwischen den Daten und den Modellobjekten sauber definiert ist. Dazu werden Profile genutzt, die den Modellobjekten zugeordnet werden. Die Daten werden für die Profile in der Datenbank hinterlegt. Auf diese Weise ist die Datenbankstruktur von den Namen der Modellobjekte unabhängig und kann ggf. für unterschiedliche Anlagenkonzepte wiederverwendet werden.

Eine standardisierte Datenstruktur ist außerdem eine gute Kommunikationsbasis für die Formulierung der Datenanforderungen an den Auftraggeber der Simulation. Der Auftraggeber kann bei Folgeprojekten die Daten bereits selbständig aufbereiten und dadurch die Projektlaufzeit verkürzen.

Ein weiterer entscheidender Faktor für die Laufzeit von Simulationsprojekten ist die Modellierung. Im Bereich der Photovoltaik werden unterschiedliche Bausteinkästen eingesetzt. In [SQu09] wird ein Bausteinkasten für die Simulation von Dünnschichtlinien auf Basis des Simulationstools AnyLogic beschrieben. Die Firma SimPlan AG hat auf Basis des Tools Plant Simulation einen Bausteinkasten für die Materialflusssimulation in der Zell- und Modulfertigung entwickelt. Für die Modellierung der Stationen und der Fördertechnikelemente werden parametrisierbare Bausteine bereitgestellt, welche die grundlegenden Eigenschaften der Elemente abbilden. Diese Bausteine können in das Layout der Anlage eingesetzt werden. Der Modellierungsaufwand beschränkt sich somit in der Abbildung spezifischer Steuerungsregeln der jeweiligen Anlagen. Der Bausteinkasten stellt neben den Bausteinen auch die wichtigsten Statistiken zur Auswertung der Simulationsläufe bereit. Solche Statistiken sind:

- Durchsatz gemessen als Summe der Nennleistung oder als einzelne Zellen bzw. Module,
- Auslastung der Stationen,
- Füllstände,
- Durchlaufzeiten.

Durch die Verwendung der bereitgestellten Bausteine und standardisierten Statistiken führen die Studien zu zuverlässigen Ergebnissen bei einem geringeren Aufwand der Verifizierung und Validierung.

#### 4 Fallstudie Simulation einer Modulfertigung

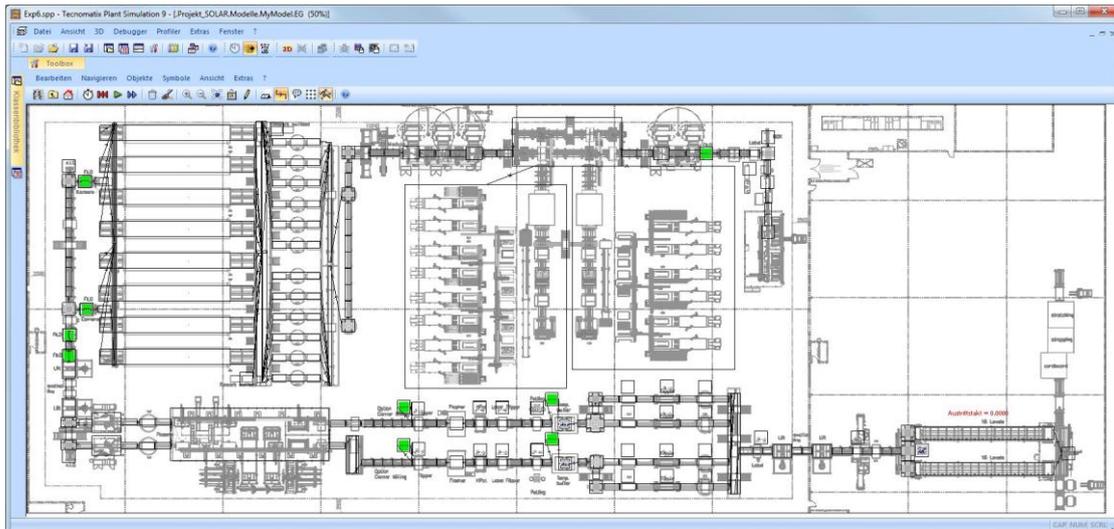
Die Erörterungen dieses Betrags werden anhand einer Fallstudie verdeutlicht. Diese Fallstudie befasst sich mit der Simulation einer Modulfertigungsanlage für die Firma Reis Robotics GmbH & Co. KG in Obernburg (vgl. [Mer11]). Die Firma Reis Robotics entwirft und baut Anlagen für die Fertigung von Photovoltaikmodulen. Die Simulation wird in der Entwurfsphase der Anlagen eingesetzt, um die Anlagenkonzepte gegenüber den Vorgaben bzgl. der Ausbringung abzusichern.

Ein solches Photovoltaikmodul ist das Endprodukt der Wertschöpfungskette, welches anschließend für die Stromerzeugung installiert werden kann. Abbildung 4-1 zeigt eine Anlage für die Modulfertigung. In dieser Anlage wird eine Variante Photovoltaikmodule gefertigt. Dazu werden die Solarzellen zu Strings bzw. die Strings zu Matrizen verschaltet. Anschließend werden diese Matrizen laminiert, um sie so vor Beschädigungen zu schützen. Für das Laminieren werden auf Front- und Rückseite Folien aufgelegt. Dabei muss beachtet werden, dass die Module nach dem Auflegen der ersten Folie in einer begrenzten Zeit in den Laminieröfen bearbeitet werden müssen. Die fehlerhaften Module können an verschiedenen Stellen ausgeschleust bzw. nachbearbeitet werden, z.B. nach dem Löten der Matrizen und nach dem Laminieren. Im sogenannten End of Line-Bereich (EOL) werden die Module gerahmt und getestet. Abschließend werden alle Module nach Leistungsklassen sortiert verpackt.



**Abbildung 4-1:** Einblick in eine Anlage zur Fertigung von Photovoltaikmodulen

Ziel der Simulationsstudie war die Überprüfung des Konzeptes einer Anlage zur Fertigung von Photovoltaikmodulen hinsichtlich Ausbringung und Gesamtverfügbarkeit. Außerdem sollte der Einfluss der Taktzeiten der kritischen Stationen untersucht werden. Für die Modellierung wurde der Solarbausteinkasten der SimPlan AG eingesetzt. Dieser enthielt die grundlegenden Bausteine für die Modellierung der Fördertechnik und der Stationen einer Modulfertigungsanlage. Das Simulationsmodell wurde layoutbasiert aufgebaut, d.h. insbesondere die Fördertechnik wurde hinsichtlich der Förderelemente und Längen anhand der Vorgaben aus dem CAD-Layout eingebunden (vgl. Abbildung 4-2). Es wurde angenommen, dass Rohstoffe und Werker immer verfügbar sind. Es wurden keine Schichtzeiten berücksichtigt. Die Fertigungsanlagen bzw. die Fördertechnikelemente haben alle eine individuelle Verfügbarkeit bzw. Wiederherstellungsdauer.



**Abbildung 4-2:** Simulationsmodell der Anlage zur Fertigung von Photovoltaikmodulen

Die Eingangsdaten wurden in Form einer Excel-Datenbank zur Verfügung gestellt. Die Struktur der Datenbank ist so gewählt, dass die Daten aus Excel eingelesen und auf die Bausteine des Simulationsmodells aufgeprägt werden können. Zentrale Auswertungsgröße war der stündliche Durchsatz der Anlage, der mit drei Zieldurchsätzen verglichen wurde, die sich aus einer vorgegebenen Taktzeit im ungestörten Fall und der Mindestverfügbarkeit der Anlage ergeben (vgl. Tabelle 4-1).

Taktzeit [s]	Verfügbarkeit	Zieldurchsatz
17.0 s (212 Module pro Stunde)	93%	$212 * 0.93 = 197$ Module pro Stunde
18.5 s (195 Module pro Stunde)	93%	$195 * 0.93 = 181$ Module pro Stunde
20.0 s (180 Module pro Stunde)	93%	$180 * 0.93 = 167$ Module pro Stunde

**Tabelle 4-1:** Zieldurchsatz in Abhängigkeit von der Solltaktzeit

Eine statische Analyse der Anlage ergab, dass beim EOL-Bereich ein Engpass vermutet wurde. Aus diesem Grund wurde in einem ersten Szenario die Abhängigkeit des Durchsatzes von den Taktzeiten im EOL untersucht. Dazu wurde in den Experimenten der Ausbringungstakt im EOL variiert (vgl. Tabelle 4-2, Experimente 1-5). In einem Experiment wurde außerdem der Einfluss der Wiederherstellungsdauer (MTTR) auf die Ausbringung der Anlage untersucht (vgl. Tabelle 4-2, Experiment 6). Experiment 4 enthält die Konfiguration entsprechend der Ausgangsdaten der statischen Analyse. Die Taktzeiten in Experiment 6 sind mit denselben Werten angesetzt. Im Vergleich zu Experiment 3 sind die Taktzeiten der Anlagen im EOL etwas geringer.

Experiment	Maximaler Takt EOL	MTTR
1	18.0 s	kurz
2	17.0 s	kurz
3	16.0 s	kurz
4	16.0 s	kurz
5	15.0 s	kurz
6	16.0 s	lang (2-4 faches der Vorgabe)

**Tabelle 4-2:** Experimentelles Design Szenario 1

Abbildung 4-3 zeigt die stündliche Ausbringung der Anlage für die verschiedenen Experimente. Der Durchsatz hängt stark von der Taktzeit im EOL-Bereich ab. In allen Experimenten wird der Zieldurchsatz von 20s erreicht. Allerdings kann nur in Experiment 5 der Zieldurchsatz für eine Taktzeit von 17s erreicht werden.



**Abbildung 4-3:** Durchsatz in Abhängigkeit von der Taktzeit und MTTR

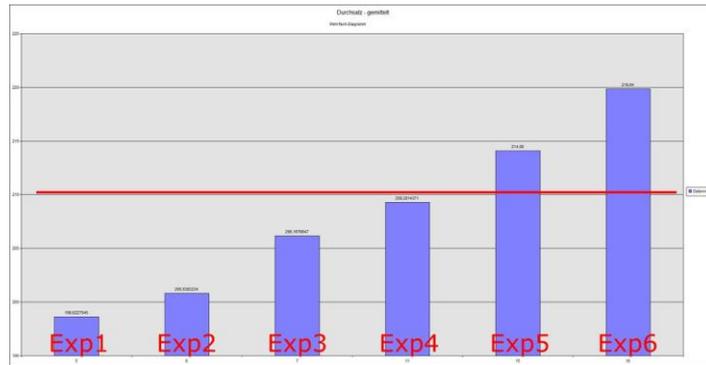
Außerdem ist erkennbar, dass längere Reparaturdauern bei derselben Verfügbarkeit eine Reduzierung der Ausbringung bewirken. Die Ursache dafür liegt in dem Verhalten der vor- bzw. nachgelagerten Puffer. Bei langen Ausfallzeiten können die Puffer vor der betroffenen Station volllaufen und Vorgängerstationen blockieren. Dagegen kann bei nachgelagerten Puffern der Fall eintreten, dass dieser keine Module mehr enthält und alle folgenden Stationen leerstehen.

Der Einfluss der Pufferfüllstände auf den Durchsatz wurde in einem weiteren Szenario für die Anlage untersucht. Es sollte eine Konfiguration für die Anlage ermittelt werden, für die der Zieltakt von 17s erreicht wird. Die Stellgrößen waren die Puffer nach dem Rahmen und vor dem Temperieren bzw. die Anzahl der Module, die parallel vor dem Rahmen getrimmt werden können (vgl. Tabelle 4-3).

Experiment	Maximaler Takt EOL	Puffer nach dem Rahmen	Puffer vor Temperieren	Anzahl Arbeitsplätze Trimmen
1	16 s	50	50	1
2	16 s	100	100	1
3	15 s	100	100	1
4	15 s	100	100	2
5	14 s	100	100	1
6	14 s	100	100	2

**Tabelle 4-3:** Experimentelles Design Szenario 2

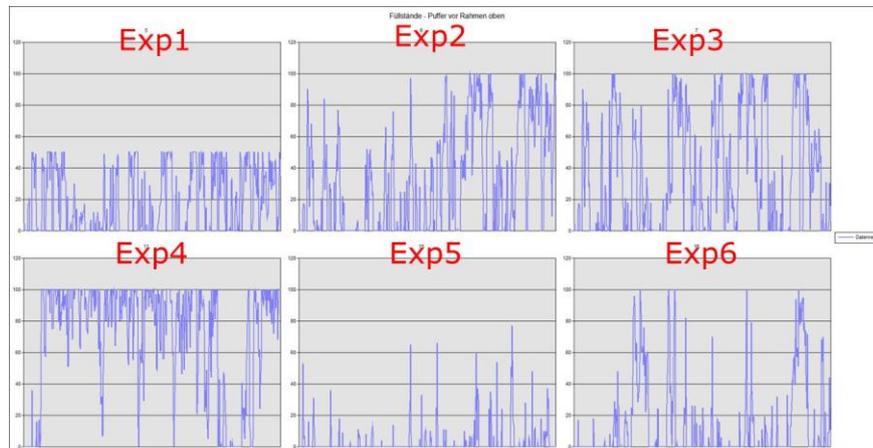
Abbildung 4-4 zeigt den Durchsatz in Abhängigkeit von der Taktzeit im EOL und der Pufferkonfiguration. Der Zieldurchsatz wird nur für eine Taktzeit von 14s erreicht. In diesem Fall ist auch eine Parallelstation beim Trimmen nicht erforderlich. Für eine größere Taktzeit im EOL kann der Zieldurchsatz in diesem Szenario nicht erreicht werden.



**Abbildung 4-4:** Durchsatz in Abhängigkeit von Taktzeit und Puffergröße

Die Auslegung der Puffer hat einen maßgeblichen Einfluss auf den Durchsatz der Anlage. Der Puffer sollte in der Regel nicht leer sein, so dass auf der nachfolgenden Station keine Leerzeiten entstehen. Auf der anderen Seite muss die Puffergröße so gewählt werden, dass der Puffer nicht voll ist und so ein Rückstau auf die Vorgängerstation entsteht.

In Abbildung 4-5 sind die Pufferfüllstände nach dem Rahmen im zeitlichen Verlauf dargestellt. In Experiment 1 bis Experiment 4 ist ersichtlich, dass die Puffer meistens voll sind. In diesem Fall sind die Taktzeiten der nachgelagerten Stationen des EOL zu groß. In den Experimenten 5 bzw. 6 sind die Puffer regelmäßig leer. Hier entstehen Versorgungslücken für den EOL-Bereich. Dies ist vor allem kritisch, wenn beim Rahmen eine Störung auftritt.



**Abbildung 4-5:** Pufferfüllstände nach dem Rahmen

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Anwendung der Materialflusssimulation in der Photovoltaikindustrie. Die Simulation hat in den letzten Jahren als Instrument für die Untersuchung von Fertigungsprozessen auch in der Photovoltaikindustrie gewonnen. Sie wird inzwischen in allen Bereichen entlang der Wertschöpfungskette eingesetzt. In dem Beitrag werden typische Problemstellungen der Materialflusssimulation in der Zell- und Modulfertigung beschrieben. Schwerpunkt ist die Analyse von Anlagenkonzepten hinsichtlich der Ausbringung und der Gesamtverfügbarkeit der Fertigungsanlagen.

Für eine effiziente Durchführung der Simulationsstudien wird auch im Bereich der Photovoltaik mit standardisierten Methoden gearbeitet. Es werden Datenbanken und standardisierte Schnittstellen für die Bereitstellung der Eingangsdaten zur Verfügung gestellt. In den letzten Jahren wurden verschiedene Bausteinkästen speziell für die Modellierung der Anlagen der Photovoltaikindustrie entwickelt. Auf diese Weise können Simulationsprojekte inzwischen sehr effizient abgewickelt werden.

Neben der Betrachtung des Materialflusses einer Anlage werden in Zukunft auch Fragestellungen bezüglich der Versorgung der Stationen mit Material bzw. der Wartung durch Werker interessant sein. In der Regel wird die Anzahl der notwendigen Werker für die Wartung der Anlagen durch statische Berechnungen bestimmt. Durch Simulation können die Werkerzahlen und die Auswirkungen auf die Gesamtverfügbarkeit der Anlage untersucht werden.

Ein weiterer Aspekt ist die Berücksichtigung der allgemeinen neuen Entwicklungen im Bereich der Simulation im Umfeld der Photovoltaikindustrie, insbesondere im Kontext der digitalen Fabrik. Die Verwendung von Bausteinkästen und standardisierten sind Voraussetzung für eine Modellgenerierung auf Basis der Anlagenlayouts. Allerdings setzt dieses Vorgehen auch einen Standard bei der Modellierung im CAD-System voraus.

Die Autoren bedanken sich für die Freigabe des Fallbeispiels durch die Firma Reis Robotics GmbH & Co. KG, Obernburg.

## 6 Literatur

- [Böh04] Böhnlein, C.-B.: Simulation in der Betriebswirtschaft. In: Rabe, M. (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistic Applications. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2004, S. 141-150.
- [LPT+12] Lattner, A.D.; Pitsch, H.; Timm, I.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: AssistSim – Towards Automation of Simulation Studies in Logistics. Simulation News Europe (erscheint voraussichtlich 2012).
- [LSc95] Lorenz, P.; Schulze, T.: Layout Based Model Generation. In: Alexopolus, C.; Kang, K. (Hrsg.): Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference, ACM Press, New York, 1995, S. 728-735.
- [LSR08] Lange, J.; Schmidt, K.; Rose, O.: Automated Generation and Parametrization of Throughput Models for Semiconductor Tools. In: Mason, S.; Hill, R.; Mönch, L.; Rose, O.; Jefferson, T.; Fowler, J. (Hrsg.): Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, Miami, 2008, S. 2335-2340.
- [Mer11] Merz, P.: Planung und Simulation einer Produktionsanlage für Photovoltaikmodule, In: Franke, J: Engineering wandlungsfähiger Produktionsanlagen – Fachseminar zum Lebenszyklusmanagement von Produktionsanlagen, Nürnberg 2011.
- [RSW08] Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik. Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [SQu09] Sturm, R.; Quasdorf, E.: Equipment Library – Fabriksimulation am Beispiel von Photovoltaikfabriken. 3. Innovationsforum “Software Saxony”, Technische Universität Dresden, Dresden, April 2009.
- [VDI00] VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Grundlagen. VDI-Handbuch Materialfluss und Fördertechnik, Bd. 8, Gründruck Beuth, Berlin, 2000.
- [VDI08] VDI-Richtlinie 4499 Blatt 1: Digitale Fabrik; Grundlagen. VDI-Handbuch Materialfluss und Fördertechnik, Bd. 8, Weißdruck Beuth, Berlin, 2008.
- [Wen09] Wenzel, S.: Modellbildung und Simulation in Produktion und Logistik – Stand und Perspektiven. In: Elst, G. (Hrsg.): Tagungsband zum ASIM-Treffen STS/GMMS. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart, 2009, S.7-16.
- [WBJ10] Wenzel, S.; Boyaci, P.; Jessen, U.: Simulation in Production and Logistics: Trends, Solutions and Applications. In: Dangelmeier, W.; Blecken, A.; Delius, R.; Klöpfler, S. (Hrsg.): Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 73-84.
- [WWC+08] Wenzel, S.; Weiß, M.; Collisi-Böhmer, S.; Pitsch, H.; Rose, O.: Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik, Springer-Verlag, Berlin, 2008.