

Simulation 2025:

Simulation im Lebenszyklus industrieller Anlagen

Dr.-Ing. **Mathias Oppelt**, Siemens AG, Erlangen;
Dipl.-Ing. (FH) **Mario Hoernicke**, ABB AG, Ladenburg;
Dipl.-Math. **Roland Rosen**, Siemens AG, München;
Prof. Dr.-Ing. **Leon Urbas**, Technische Universität Dresden;
Prof. Dr.-Ing. **Mike Barth**, Hochschule Pforzheim

Kurzfassung

Simulation wird branchenübergreifend als wichtiges und etabliertes Werkzeug für moderne Engineering-Prozesse betrachtet. Insbesondere die Automatisierung moderner Produktionsanlagen verwendet Modellierungs- und Simulationstechniken in verschiedenen Projektphasen, um sowohl die Anlage, aber auch das Produkt in bestmöglicher Qualität zu entwickeln. Die jüngsten Trends rund um die sogenannte „Digitalisierung von Produktionsanlagen“ bestärken die Relevanz von virtuellen Engineering-Szenarien. Der vorliegende Beitrag stellt die Ergebnisse eines in 2015 unter der Leitung des GMA-Fachausschusses 6.11 stattgefundenen Workshops zur zukünftigen Entwicklung von Simulationen im Lebenszyklus industrieller Anlagen vor. Unter dem Arbeitstitel „Simulation 2025“ werden international erfragte Meinungen und Einschätzungen von Simulationsexperten strukturiert und in Thesen formuliert. Hierzu stellt der Beitrag prognostizierte Entwicklungen im Bereich der Simulation innerhalb der kommenden 10 – 15 Jahre vor und erläutert die notwendigen Schritte zu deren Realisierung.

1. Einleitung

Die zunehmende Komplexität moderner Produktionsanlagen wirkt sich unmittelbar auf deren Engineering- und Betriebsphasen aus. So erfahren Ingenieure stetig zunehmende Anforderungen und Aufgaben, die unter gleichzeitig wachsendem Zeit- und Kostendruck erfüllt werden müssen. In diesem Zusammenhang trägt der Einsatz von Simulationstechniken dazu bei, dass aufkommende Fragestellungen frühzeitiger, zuverlässiger und mit geringerem Risiko beantwortet werden können. Diese, über alle Gewerke hinweg gültige Aussage, gewinnt auch im Engineering von Automatisierungssystemen für industrielle Anlagen zunehmend an Relevanz. In diesem Zusammenhang widmet sich der Fachausschuss 6.11 „Virtuelle Inbetriebnahme“ der

Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik aktuellen Fragestellungen rund um den effizienten und zukunftsorientierten Einsatz von Simulationen im Engineering von Automatisierungssystemen. Das hierbei notwendige Erfahrungswissen aus der industriellen Praxis wurde im Rahmen eines in 2015 durchgeführten Workshops vorgestellt und diskutiert. Teilnehmer waren sowohl Anlagenbetreiber als auch Systemlieferanten. Diskussionsgrundlage des Workshops war eine in [1] veröffentlichte, globale Umfrage zur Nutzung von Simulation im Lebenszyklus einer Prozessanlage in Kombination mit daraus abgeleiteten Szenarien [2]. Die zusammenfassend aus allen Berichten, Umfragen und Arbeitstreffen abgeleiteten Hauptthesen in Bezug auf den Arbeitstitel „Simulation 2025“ sind:

1. Simulationsmodelle von Geräten und/oder Modulen werden zukünftig von den jeweiligen Lieferanten erstellt und als Teil des realen Produktes ausgeliefert.
2. Simulation wird ein noch bedeutender, integraler Bestandteil des Engineerings von industriellen Anlagen. Dabei werden Modelle durchgängiger – über Gewerkegrenzen und Projektphasen hinweg – angewendet.
3. Ein abgestimmtes Set verschiedener Simulationsmodellen ist in eine durchgängig wachsende *digitale Anlage* integriert und ermöglicht damit, ausgerichtet auf den jeweiligen Anwendungsfall, eine passende Modellierungstiefe.

Die Autoren erwarten eine durchgängige und integrierte Anwendung von Simulation bzw. der dafür notwendigen Modelle. Dies gilt insbesondere für das Engineering des Automatisierungssystems. Getragen wird diese Annahme insbesondere durch sich ändernde technologische Rahmenbedingungen. Hierbei zu nennen sind nicht mehr bestehende Restriktionen hinsichtlich der Rechenleistung und der Speicherkapazität, welche z. B. durch den Einsatz von (unternehmensinternen) Cloud-Computing-Technologien aufgehoben werden können [3]. Auch weitreichende Möglichkeiten bei der Werkzeugauswahl für Simulation unterscheiden sich deutlich von den Möglichkeiten vergangener Jahrzehnte. So sind heute Multi-Core-Simulationen, Co-Simulationen, Hardware-in-the-Loop-(HIL)- und Software-in-the-Loop-(SIL)-Szenarien mit vergleichbar geringem Aufwand möglich. Hinzu kommt, dass Modellierung und Simulation ein Bestandteil der Hochschulausbildung von Ingenieuren sind, wodurch die Hürde zum Einsatz dieser Technologie herabgesetzt wird.

2. Simulationsmodelle als Bestandteil der Geräte-/Modulauslieferung

Das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ bildet, in Kombination mit der Anwendung cyber-physischer Systeme (CPS), den aktuellen Kernpunkt zahlreicher akademischer und industrieller Forschungsvorhaben [4]. Obgleich die Diskussionspartner unterschiedliche

Sichtweisen bzw. Lösungsvorstellungen haben, sind sich die meisten Experten darüber einig, dass sich die Produktion – gerade in Hochtechnologieländern – zukünftig flexibler ausprägen muss. Neue Technologien, wie beispielsweise Cloud Computing, Virtualisierung, schnellere lokale und globale Netzwerke sowie die in diesem Beitrag diskutierte Simulation stellen hierfür notwendige Voraussetzungen bereit.

Ein Schlüssel für die flexiblere Produktion sind flexible und adaptive Automatisierungssysteme. Als Beispiel hierfür können die Zunahme der Intelligenz von Feldgeräten bzw. die wachsenden Modularisierungsaktivitäten der Hersteller betrachtet werden. Die hierdurch gewonnene Flexibilität geht einher mit einer Verteilung von Daten, Programmen und Entscheidungen auf unterschiedliche Trägereinheiten, die schlussendlich dennoch nahtlos zusammenwirken müssen, um das Produkt auf der Anlage herzustellen. Dieses Zusammenwirken ist es, was Simulation im Engineering unbedingt notwendig macht. Die Planung von Anlagen wird in 2025 nicht mehr auf der Grundlage einfacher Spezifikationen stattfinden, vielmehr wird die Planung auf dynamischen Modellen der verwendeten Geräte, Maschinen, Apparate und Prozesse basieren. Ingenieure müssen in der Lage sein, den Austausch bzw. die Integration neuer Geräte und Module vorab zu simulieren, um die Verfügbarkeit der Anlagen sicherzustellen. Ein weiterer Anwendungsfall ist das Testen verschiedener Geräte(konfigurationen), um das optimal passende für den spezifischen Anwendungsfall auszuwählen. Auch 2025 wird es für einen Automatisierungssystemlieferanten bzw. Anlagenbetreiber jedoch nicht möglich sein, alle relevanten Details realer Geräte und Module in einem Simulationsmodell ab- bzw. nachzubilden. Diese Leistung müssen die jeweiligen Experten übernehmen. Das bedeutet, dass der Hersteller eines Gerätes, z. B. eines Durchflussmessgerätes, eine digitale Repräsentanz „in den Lieferkarton“ dazugibt. So werden Geräte- und Modulhersteller künftig nicht ausschließlich die Gerätebeschreibungsddateien ihrer Komponenten ausliefern, sondern die Simulationsmodelle – evtl. auch cloud-basiert schon vor dem Bezug der realen Komponente – zur Verfügung stellen.

Durch die Verwendung von Simulation werden Gerätespezifikationen, wie sie heute verwendet werden, in den Hintergrund rücken. Die Simulationsmodelle der Geräte sind deren Spezifikation und gleichzeitig deren Dokumentation. Darüberhinaus bestehen hierzu jedoch auch ungelöste Fragestellungen:

- Welche Modellierungsart ist für die Geräte und Modulmodelle geeignet? Denkbar sind signalflossbasierte Modelle, aber auch objektorientierte gleichungsbasierte Modelle.

- Welche Modellierungstiefe muss der jeweilige Geräte-/Modulhersteller wählen? Wie werden Modelle unterschiedlicher Tiefe sinnvoll verknüpft?
- Welche Aspekte müssen abgebildet werden? Möglich sind sowohl das elektrische, mechanische, verfahrenstechnische als auch das informationstechnische Verhalten.
- Wie schützt der Lieferant sein Know-how? Werden die Modelle als Blackbox in einem kompilierten Zustand geliefert, sodass lediglich die Schnittstellen nach außen sichtbar sind? Oder werden nicht-kompilierte Modelle geliefert, die jedoch mithilfe von Verschlüsselungstechnologien vor zu tiefen Einblicken geschützt sind? Oder beides?
- Werden die Modelle unabhängig von einem bestimmten Simulationswerkzeug, d. h. herstellerneutral angewendet werden können? Als Beispiel hierfür gelten die Functional Mockup Units (FMU) [5], die in unterschiedlichen Werkzeugen eingesetzt werden können.

Über die bislang dargelegten Herausforderungen und Chancen hinausgehend, ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten in Bezug auf neue Geschäftsmodelle mithilfe von Simulation. So werden die Simulationsmodelle in einer digitalen Anlage gepflegt und somit ständig aktuell gehalten. Darauf aufbauend ist es für Hersteller möglich, Ferndiagnosen in einem Fehlerfall zu erstellen und – bei softwaretechnischen Problemen – sogar eine Fernwartung durchzuführen. Vorreiter hierfür ist beispielsweise die Gebäudeautomation. Hier werden am Beispiel des Osram Lightify Systems [6] bereits heute Software-Updates auf physikalische Produkte – hier eine intelligente LED-Leuchte aufgespielt, um beispielsweise das Betriebsverhalten zu optimieren. Dieser am Osram-Beispiel kostenlose Service könnte im Rahmen von industriellen Anlagen als Wartungsvertrag behandelt werden. So werden die Simulationsmodelle für die Voraussimulation des Betriebsverhaltens bei der aktuellen Produktionsfahrweise herangezogen. Ein Pumpenhersteller könnte damit den Antrieb der Pumpe optimal konfigurieren (iterativer Kurzzeitbetrieb mit vielen An- und Abfahrzyklen vs. konstantem Langzeitbetrieb unter geringer Last).

Die Auslieferung eines Industrieroboters wird bereits heute in zunehmendem Maße durch die Bereitstellung eines 3D-Modells ergänzt. Hiermit können die Anlagenbauer vorab Einbau und Kollisionsszenarien überprüfen. Genau wie sich diese Modelle zunehmend in Richtung kinematisierter Dynamikmodelle als Standard-Lieferbestandteil entwickeln, werden sich auch die Geräte- und Modulhersteller der Industrie zu Modelllieferanten erweitern. Die Kombination von Vorbildern aus benachbarten Domänen (Gebäudeautomation und Fabrikautomation) mit der erläuterten Notwendigkeit bzw. den Chancen der mitgelieferten Simulationsmodelle lässt die Wahrscheinlichkeit dieser Entwicklungsthese steigen.

3. Systematische Integration der Simulation in allen Lebenszyklus-Phasen

Simulation ist bereits heute eine weithin eingesetzte und akzeptierte Methodik, die in vielen Anwendungsgebieten insbesondere zur Analyse und zur Validierung eines „Systems“ verwendet wird. Je nach Anwendungsgebiet und Aufgabenstellung unterscheidet sich das zu simulierende System – vom Bauteil bis zur Infrastruktur – und die jeweils modellierten Disziplinen bzw. Gewerke. In allen Gebieten (siehe [7]) zeichnen sich zwei wichtige Entwicklungstrends ab.

1. Simulation wird immer stärker in den Engineering-Prozess von industriellen Anlagen integriert und unterstützt somit eine stetig wachsende Zahl an Arbeits- und Entscheidungsprozessen in den Lebenszyklusphasen Design und Engineering.
2. Auch nach der Erstinbetriebnahme der Anlage nimmt der Einsatz von Simulation in den Lebenszyklusphasen Betrieb und Service stetig zu.

Diese beiden Trends begründen sich sowohl in gestiegenen Anforderungen als auch Möglichkeiten. So wird im Bereich von Produktionssystemen eine immer höhere Variabilität in Bezug auf die Produktpalette und Produktionsqualität gefordert, die eine flexiblere Betriebsweise erfordert. Auch modernere Entwicklungsmethoden, wie beispielsweise modellbasiertes Systems Engineering, Produkt-Lifecycle-Management (PLM) und Produktdatenmanagement (PDM), sowie ein durchgängiges Anlagenplanungs- und Anlagenmanagement für die Prozessindustrie, bestärken die genannten Trends.

In Bild 1 sind einige repräsentative Einsatzmöglichkeiten von Simulation – über allen Phasen des Anlagenlebenszyklus und über alle hierarchischen Ebenen einer Anlage hinweg – dargestellt. Die entscheidende Änderung mit Blick auf 2025 wird in einer durchgängigen Wieder- und Weiterverwendung der Simulationsmodelle liegen. Neben den in Bild 1 dargestellten Anwendungsfällen beziehen sich die Änderungen auf gewerkspezifische und gewerkübergreifende Aufgabenstellungen. Dies erfordert ein abgestimmtes Set von Modellen mit einer gemeinsamen Datenbasis. Die zugeordneten Werkzeuge werden kompatible Datenformate nutzen, die einen automatisierten Datenaustausch erlauben.

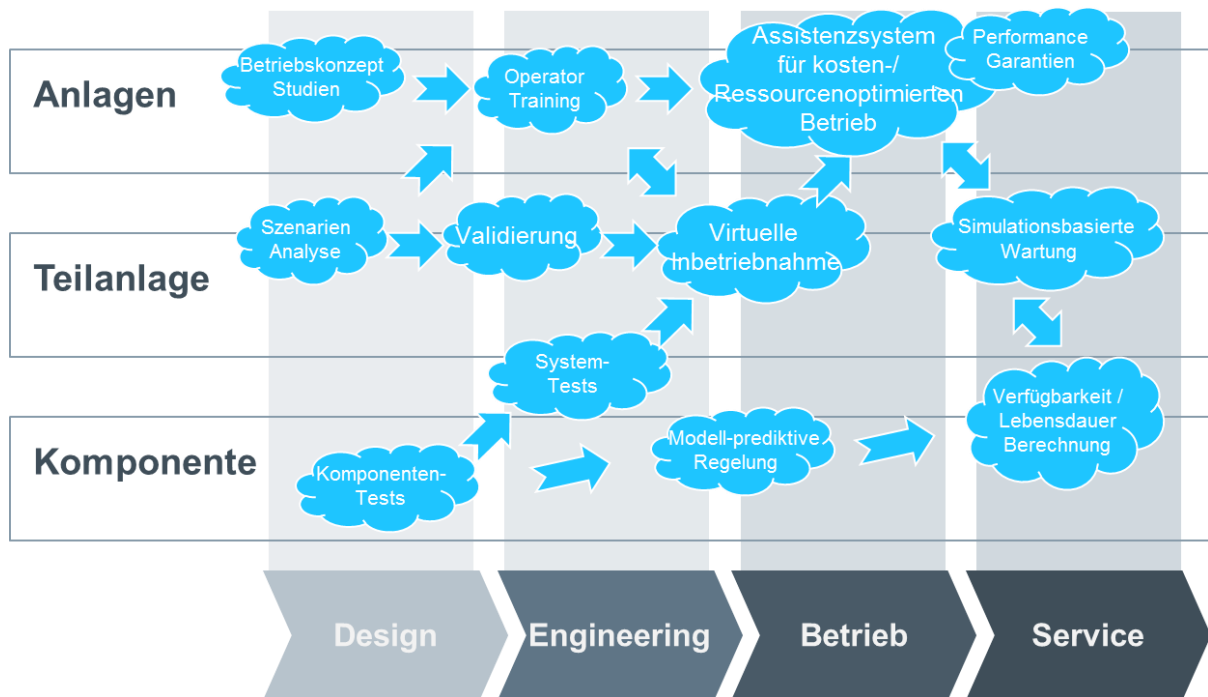


Bild 1: Einsatz und Nutzen von Simulation bei Produktionsanlagen (Auswahl)

Insbesondere am Beispiel verfahrenstechnischer Anlagen nehmen informations- und automatisierungstechnische Fragestellungen bereits in der Designphase eine wichtige Rolle ein. Sie zielen auf die Umsetzung der Betriebskonzepte durch Verwendung der verfahrenstechnischen Komponenten ab. Für die Simulation stellt sich die Aufgabe, disziplin- bzw. gewerkspezifisch Designkonzepte zu erstellen und diese im Disziplinen- bzw. Gewerkverbund zu validieren [8, 9]. Im Engineering findet eine Konkretisierung aller Gewerke statt. Die grundsätzlichen Aufgabenstellungen bleiben für die Simulation gleich: Unterstützung bei der Ausgestaltung der Funktionen, sowie Validierung von Eigenschaften und der gesteuerten und geregelten Prozessabläufe. Aus Zeit-, Aufwands- und Kostengründen wird eine evolutionäre Modellentwicklung und weitgehende Nutzung von (Simulationsmodell-) Bibliotheken erforderlich sein. Die zentralen Parameter zur Konfiguration des (AT-)Systems werden dabei in einer zentralen Datenbasis gehalten. Zum konsistenten und nachvollziehbaren Austausch dieser Informationen werden standardisierte Daten- und Austauschformate eingesetzt, die von den Design-, Engineering- und Simulationswerkzeugen beherrscht werden. Dies erfolgt in integrativer Weise, so dass der Anwender den Tool-Wechsel bei der Erledigung seiner Aufgabe nicht bewusst wahrnehmen wird. Ähnlich der Rechtschreibprüfung in einem Textverarbeitungsprogramm wird beispielsweise eine simulationsgestützte Überprüfung einer in der Entwicklung befindlichen Automatisierung für eine Teilanlage erfolgen.

Beim Übergang vom Engineering in die Betriebsphase werden bereits heute verschiedene Methoden, z. B. Software-in-the-Loop (SIL) oder Hardware-in-the-Loop (HIL) zur virtuellen Inbetriebnahme eingesetzt [10]. Die Einsatzhäufigkeit wird dabei durch die verbesserte und erleichterte Übernahme von Simulationsmodellen und Engineering-Daten sowie automatische Generierung von Simulationsmodellen erheblich gesteigert [11, 12]. Durchgängigkeit bedeutet auch den Übergang von reinen Model-in-the-Loop-Ansätzen (MIL) aus frühen Phasen zu SIL und HIL. Hierbei werden die modellierte Steuerung und Kommunikation durch emulierte oder reale Komponenten ersetzt.

Die zunehmende Komplexität der Produktionsanlagen und ihre flexiblere Verwendung werden den Einsatz von simulationsbasierten Assistenzsystemen bedingen. In Analogie zu Fahrerinformations-, Navigations- und Fahrerassistenzsystemen bei Autos werden Anlagen-Assistenzsysteme benötigt. Diese werden betriebsparallel eingesetzt und von unterschiedlichen Nutzern, wie Bedienern, Planern und in einem spezifischen Funktionsumfang auch durch Kunden angewendet werden. Die Anlagenassistenzsysteme werden verschiedene Aufgabenbereiche abdecken.

In einer ersten Stufe werden erweiterte Monitoring-Funktionen benötigt, die neben historischen Daten auch aktuelle Daten in Form von Leistungskennzahlen (engl. Key Performance Indicators (KPI)) und durch Simulation erweiterte Messdaten, „Soft Sensors“, in anwenderadaptierbaren Bedienerschnittstellen anzeigen. Für diese simulationsbasierte Assistenz werden – angepasst an den Nutzungskontext – verstärkt webbasierte Technologien und mobile Endgeräte zum Einsatz kommen.

In einer zweiten Stufe wird schließlich eine Betriebsassistenz über Analyse und Szenario-Management erfolgen. Methoden aus der Datenanalytik werden in Kombination mit Simulationen eingesetzt werden, die unterschiedliche Betriebs- und Auftragssituationen berechnen. Die Anlagenfahrer erhalten auf diese Weise Unterstützung bei der vorausschauenden Betriebsführung. In einer weiteren Ausbaustufe wird eine automatisierte Entscheidungsfindung und Betriebsoptimierung gegeben sein. Das Ziel ist hier ein kosten- und ressourcenoptimierter Produktionsbetrieb, der dynamisch auf geänderte Betriebszustände, wie kurzfristig geänderte Aufträge und ungeplante Ausfälle, reagiert. Diese Assistenz wird ergänzt durch Service-Anwendungen wie z. B. vorausschauende Berechnungen für die Lebensdauer von Komponenten und Systemverfügbarkeiten.

Die zukünftige Rolle der Simulation liegt in der nahtlosen Integration in den Entwicklungsprozess. Nahtlos bezieht sich auf die Verwendung der Simulation in den Entwicklungswerkzeugen und deren durchgängige Verwendung über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage hinweg.

Der bereits eingeschlagene Weg, die Simulation aus dem Werkzeug für Spezialisten von Spezialisten herauszuholen, muss konsequent weiter gegangen werden. Dies wird über Simulation als ein Fachthema in der Aus- und Weiterbildung erfolgen und durch die engere Verzahnung von Simulationen mit allen Werkzeugen erfolgen, die entlang des Anlagenlebenszyklus verwendet werden. Simulation wird demokratisiert – und damit für alle Beteiligte effektiver nutzbar.

4. Die digitale Anlage

Neben dem bereits erläuterten Set an Simulationsmodellen ist die Unterstützung des Daten- und Modellaustausches zwischen den eingesetzten Werkzeugen auf der Grundlage standardisierter Austauschformate wichtig. Diese sind Basis die für eine aufwandsärmere Konfiguration von Werkzeugketten zur flexiblen Unterstützung von workflow-basierten Engineering-Prozessen. Ergebnisse sind zum einen eine deutliche Verkürzung von Entwicklungszeiten und -aufwänden, zum anderen weiter optimierte Entwürfe durch automatisierte Arbeitsabläufe. Da bei der Entwicklung und dem Betrieb einer Produktionsanlage eine größere Anzahl von Firmen, insbesondere auch klein- und mittelständische Unternehmen (KMU) involviert sind, kommt hierbei auch dem Know-how-Schutz eine große Bedeutung zu. Mechanismen wie das Functional Mock-Up Interface (FMI) [5] für Modellaustausch und Co-Simulation sind hier richtige Ansätze, die für weitere Austausch Zwecke ergänzt werden müssen.

Eine weitere Konsequenz aus der besseren methodischen und werkzeugtechnischen Verknüpfung liegt in der Effizienzsteigerung der Wertschöpfungsketten. Systemintegratoren können über virtuelle Modelle, die von Komponentenherstellern zur Verfügung gestellt werden, frühzeitig die Integration absichern. In gleicher Weise können gewerkspezifische Modelle zu gewerkübergreifenden Simulationsmodellen zusammengefügt werden. Diese Beispiele und die Verwendung von Simulationsmodellen in Betrieb und Service zeigen deutlich, dass Ansätze und Methoden erarbeitet werden (müssen), die eine Essenz der verfügbaren Modelle phasen- und auch firmenübergreifend verfügbar machen.

Damit Modelle zusammenpassen, müssen klare Spezifikationen erstellt und standardisiert werden, welche die notwendigen Anforderungen an das qualitative und ggf. auch quantitative Verhalten beschreiben.

Zusätzlich werden standardisierte Modellschnittstellen benötigt. Diese ermöglichen einen Austausch der Modelle über Werkzeuge hinweg, wodurch diese universell eingesetzt werden können. Die Simulation wird unabhängig vom verwendeten Simulationswerkzeug. Hierdurch

wird ein „Plug & Simulate“ ermöglicht. Es ist möglich, Modelle in vorhandene virtuelle Anlagen nahtlos zu integrieren, ohne dass diese der virtuellen Anlage vorher bekannt sind.

Ein Modell kann sich über die definierte Schnittstelle an der virtuellen Anlage anmelden und durch Spezifikation der Verbindungen im Prozess automatisch in die virtuelle Anlage eingebunden werden. Eine weitere Interaktion durch den Ingenieur ist nicht nötig.

Durch die standardisierten Schnittstellen können virtuelle Geräte auch an die realen Bussysteme angeschlossen werden. Die standardisierte Schnittstelle dient zusätzlich zur Verbindung verschiedener Modelle auch zum Mischbetrieb, wobei manche Teile der Anlage bereits vorhanden sind, andere noch simuliert werden. Besonders in Modernisierungsprojekten erhält man so die Möglichkeit, Vorabinbetriebnahmen zu machen, wobei das reale Verhalten des Prozesses mit einbezogen werden kann.

Die im Zuge von Industrie 4.0 geforderte, zunehmend modulare Struktur einer Produktionsanlage wirkt sich ebenfalls auf die Simulation aus. Genau wie das Automatisierungssystem müssen die Simulationsmodelle modular aufgebaut werden. Jedes Gerät, oder jedes Modul muss eigenständig modelliert und getestet werden können. Darüber hinaus müssen, im Sinne des Modulgedankens, die einzelnen Module über standardisierte Schnittstellen verfügen, welche ebenfalls getestet werden müssen.

Hieraus ergibt sich die Möglichkeit einer effizienteren Modellierung. Modelle werden nicht mehr für einzelne Geräte (z. B. Förderband, Ventil) oder für ganze Anlagen (z. B. Polymeranlage) erstellt, sondern basieren auf Modulen mit definierten Funktionen, wie z. B. einem Reaktor oder einer Roboterschweißzelle. Der modulare Aufbau erlaubt eine erhöhte Wiederverwendung in Kombination mit der Austauschbarkeit und Kombination (auch über Werkzeuggrenzen hinweg) von Modellen. Bringt jedes Modul ein geeignetes Simulationsmodell von sich selbst als Beschreibung mit, ist die Simulation einzelner Module und deren Verhalten im Verbund möglich.

Die flexiblere Gestaltung der Arbeitsbedingungen, die durch die Bereitstellung der Modelle gegeben ist, erfordert ebenfalls eine Anpassung der Unternehmen: Ingenieure sind künftig noch weniger als bereits heute an einen geografischen Platz zum Arbeiten gebunden. Die virtuellen bzw. digitalen Anlagen können von nahezu überall projiziert und optimiert werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Sicher ist, dass sich über die in diesem Beitrag aufgestellten Thesen zur zukünftigen Ausrichtung der Simulation hinausgehende Werkzeuge, Modelle und Methoden entwickeln werden, die das Engineering und den Betrieb industrieller Anlagen effizienter, sicherer und qualitativ hochwertiger werden lassen. Wie bei allen Prognosen kann jedoch nicht mit

Sicherheit behauptet werden, dass sich alle in diesem Beitrag erläuterten Thesen bewahrheiten werden. Jedoch stützen sich die Autoren auf eine fundierte Datenbasis, bestehend aus Umfragen, Expertenmeinungen, Gremiensitzungen und Workshops zu den dargelegten Themen. Ohne jeden Zweifel bestärken zudem die aktuellen Entwicklungen in annähernd allen Bereichen der industriellen Produktion die Rolle und Notwendigkeit von Simulation. Hauptziel dieses Beitrages ist es daher nicht, die Zukunft exakt vorherzusagen, sondern im Hier und Jetzt Entwicklungen anzustoßen, die notwendig sind, um den Einsatz von Simulation im Engineering und Betrieb industrieller Anlagen effizienter und sicherer werden zu lassen. Dies kann nur gelingen, wenn die Zielszenarien aussichtsreich und erfolgsversprechend sind.

Danksagung

Die Autoren danken dem GMA FA 6.11 für den intensiven Austausch und die anregenden Diskussionen.

Literatur

- [1] Oppelt, M.; Urbas, L.; Barth, M. (2015): Die Rolle von Simulation im Lebenszyklus einer Prozessanlage. Ergebnisse einer globalen Umfrage zur aktuellen und zukünftigen Nutzung. In: Tagungsband Automation 2015. VDI
- [2] Oppelt, M.; Wolf, G.; Barth, M.; Urbas, L. (2015): Simulation im Lebenszyklus einer Prozessanlage. Ergebnisse einer globalen Umfrage und eine Roadmap. In: atp edition 57 (9), S. 49-59.
- [3] Bitkom (Hrsg.) (2009): Cloud Computing - Evolution in der Technik, Revolution im Business. BITKOM-Leitfaden.
- [4] Acatech (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0.
- [5] Modelica Association: Functional Mockup Interface V2.0, 2014. <https://www.fmi-standard.org/downloads#version2>. [letzter Zugriff: 21.03.2016].
- [6] Härter, H.: ZigBee für die clevere Lichtsteuerung. Online unter: <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/opto/articles/454318/> [letzter Zugriff: 21.03.2016].
- [7] Boschert, S.; Rosen, R. (2016): Digital Twin – The Simulation Aspect. In Hehenberger, P.; Bradley, D. (Hrsg.): Mechatronics Futures. Springer Verlag. ISBN 978-3-319-32156-1.
- [8] Brandstetter, V.; Wehrstedt, J.C.; Rosen, R.; Pirsing, A. (2013): Simulationsgestützte Entwicklung der Automatisierung - Automatisierungssoftware in frühen Phasen validieren. In: atp edition 55(6), S. 24-31.
- [9] Wehrstedt, J.C.; Rosen, R.; Pirsing, A.; Dietz, C. (2011): Simulation Based Engineering – Frühzeitige Validierung von Anlagenkonzepten. In: Gausemeier, J.; Grafe, M.; Meyer auf der Heide, F. (Hrsg.) Wissenschaftsforum 2011 Intelligente Technische Systeme, S. 175–186. Universität Paderborn Heinz Nixdorf Inst.

- [10] VDI-Richtlinie 3693: Virtuelle Inbetriebnahme - Blatt 1: Modellarten und Glossar, im Gründruck 2015.
- [11] Barth, M.; Fay, A. (2013): Automated generation of simulation models for control code tests. In: Control Engineering Practice 21, S. 218-230, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2012.09.022>.
- [12] Hoernicke, M. (2015): Automatisierung der Automatisierung in der Praxis - Interaktives, topologiebasiertes Engineering zur Generierung von Simulationsmodellen. In: atp edition 57(07-08), S. 44-55.