



DIGITALE ZWILLINGE IN DER ZUFÜHRTECHNIK

EXECUTIVE SUMMARY

Anspruchsvolle Marktbedingungen und starke internationale Marktbegehrer erfordern echte Innovationen im Maschinenbau. Das Konzept des digitalen Zwillinges bietet hier großes Potenzial, besonders für die Schlüsselbranche Zuführtechnik. Sie ist ein Kernbestandteil automatisierter Produktionsanlagen. Als Start-up des digitalen Maschinenbaus möchten wir in diesem White Paper unsere Technologie des digitalen Zwillinges für Zuführsysteme vorstellen. Dafür wird zunächst auf Basis der Fachliteratur eine allgemeine Definition für digitale Zwillinge gegeben und die Vorteile und Voraussetzungen beschrieben. Anschließend stellen wir ausführlich die digitale Technologie spezifisch für Zuführsysteme dar und gehen dabei auch auf den Anlagenentwicklungsprozess ein. Nachfolgend wird der Nutzen für Systemhersteller, -integratoren und Anlagenbetreiber präsentiert. Schließlich fassen wir das Paper zusammen und skizzieren den weiteren Ausbau der Technologie.

01 EINFÜHRUNG

Das Umfeld produzierender Unternehmen ist in den vergangenen Jahren zunehmend dynamischer und unvorhersehbarer geworden (Soder 2017, S. 3). Wachsende Globalisierung und Vernetzung, schwankende Nachfragen und verkürzte Produktlebenszyklen sind nur einige Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt (Abele und Reinhart 2011, S. 11 ff., Soder 2017, S. 3). Zudem sehen sich die Unternehmen an Hochlohnstandorten starken internationalen Marktbegleitern gegenübergestellt, die eine beachtliche Innovationsgeschwindigkeit darbieten (Impuls-Stiftung 2014, S. 11 ff.).

Um dieser anhaltend anspruchsvollen Situation gerecht zu werden, sind echte Innovationen im Maschinenbau gefordert. Ein viel versprechender Ansatz ist das Konzept des digitalen Zwillings, das derzeit in Forschung und betrieblicher Praxis forciert wird. Es bietet insbesondere für die Zuführtechnik ein großes technisches und wirtschaftliches Potenzial. Die Zuführtechnik bestimmt bis zu 50 % der Gesamtkosten einer Produktionsanlage (Frädrich und Nyhuis 2009, S. 5-4) und kann für den Großteil an Prozessstörungen verantwortlich sein (Schmid 2006, S. 19).

In der Zuführtechnik dominierend sind Vibrationsfördersysteme. Hierbei stehen komplexe physikalische Phänomene in Wechselwirkung, um werkstückspezifische Zuführprozesse zu erzeugen. Während in den vergangenen Jahren die Kernprozesse von Produktionsanlagen stetige Innovationen erfahren haben, wird bei Zuführsystemen noch weitgehend konventionell verfahren. Zuführsysteme werden heute nach wie vor ohne digitale Technologien und auf Basis von Erfahrungswissen per Trial-and-Error hergestellt. In der Zuführtechnik besteht deshalb ein Market-Pull für digitale Lösungen.

Als Start-up des digitalen Maschinenbaus und Hersteller von Zuführsystemen möchten wir in diesem White Pa-

per unsere Technologie der digitalen Zwillinge für Zuführsysteme behandeln. Dafür präsentieren wir im Abschnitt 02 zunächst eine allgemeine Definition auf Basis der einschlägigen Fachliteratur. Anschließend werden die Vorteile und notwendigen Voraussetzungen thematisiert (Abschnitt 03). Im vierten Abschnitt stellen wir digitale Zwillinge für Zuführanlagen vor und benennen im Abschnitt 05 den Nutzen für Systemhersteller, -integratoren und Anlagenbetreiber. Im letzten Abschnitt geben wir eine Zusammenfassung und skizzieren den weiteren Ausbau dieser Technologie.

02 DEFINITION

Nach Tao et al. existieren zahlreiche Definitionen für den digitalen Zwilling (Tao et al. 2017, S. 4). In Anlehnung an die Autoren möchten wir der Definition von Glaessgen und Stargel folgen. Demnach ist der digitale Zwilling eine integrierte, multiphysikalische, probabilistische Multiskalen-Simulation eines komplexen Produkts und nutzt die besten verfügbaren physikalischen Modelle und Sensordaten, um den Zustand des korrespondierenden realen Zwillings widerzuspiegeln (Glaessgen und Stargel 2012, S. 7; Tao et al. 2017, S. 4).

Die Begriffe integriert und multiphysikalisch stehen hier für disziplinübergreifende Simulationsmodelle (Hanukaev et al. 2017, S. 119), in denen beispielsweise numerische Strömungsmechanik und impulsbasierte Starrkörpersimulation in Wechselwirkung stehen. Für ein und dieselbe Produktkomponente können je nach Fragestellung unterschiedlich spezifizierte physikalische Modelle existieren, welche untereinander konsistent sein müssen (Boschert und Rosen 2016, S. 71). Der Terminus probabilistisch kann so aufgefasst werden, dass der digitale Zwilling die Individualitäten eines real existierenden oder zu erzeugenden Produkts berücksichtigt (Anderl 2016, S. 8). Dies können beispielsweise Ver-

schleißerscheinungen oder fertigungsbedingte Toleranzabweichungen sein (Boschert und Rosen 2016, S. 65; Cerrone et al. 2014, S. 4 ff.). Simulation auf verschiedenen Skalen bedeutet, dass Simulation nicht nur während der Entwicklung und Planung eines Produkts stattfindet, sondern über den gesamten Lebenszyklus hinweg (Rosen et al. 2015, S. 567 f.). Es gilt zu beachten, dass nach Boschert und Rosen bei digitalen Zwillingen von Produktionsanlagen die Grenze zwischen Produkt und Prozess verschwindet (Boschert und Rosen 2016, S. 69). Digitales und reales System sind schließlich über den Lebenszyklus so miteinander verbunden, dass sie untereinander Daten austauschen können (Jahn 2017, S. 11). Dabei kann entweder das virtuelle Modell mit Sensordaten gespeist oder das reale System mit Simulationsdaten optimiert werden. Tao et al. postulieren sogar, dass der digitale Zwilling mit Hilfe von Sensorik durch Datenupdates eine Art Selbst-Evolution durchläuft (Tao et al. 2017, S. 4).

Das Konzept des digitalen Zwillings stellt ein enormes Innovationspotenzial für den Maschinenbau dar. Damit verbunden sind zahlreiche ökonomische und ökologische Vorteile. Für die Umsetzung eines digitalen Zwillings müssen allerdings anspruchsvolle technische Voraussetzungen eingehalten werden.

03 VORTEILE UND VORAUSSETZUNGEN

In der Fachliteratur wird als ein wesentlicher Vorteil des digitalen Zwillings die Verkürzung der Time-to-Market durch reduzierte Anlagenentwicklungs- und Inbetriebnahmezeit genannt (Siemens AG 2015a, S. 13; Siemens AG 2015b). Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass keine teuren Hardware-Prototypen benötigt werden. Hardware-basierte Prototypen lösen grundsätzlich Zusatzinvestitionen aus und erfordern teils erheblichen Material- und Energieverbrauch. Ist man vor

den Möglichkeiten des digitalen Maschinenbaus noch davon ausgegangen, dass Hardware-Prototypen zur Absicherung und frühen Identifikation von Fehlern dienen, sehen wir sie heute eher als „Rendite-Fresser“.

„DAS GOLDENE ZEITALTER DER SIMULATION HAT GERADE ERST BEGONNEN.“
(Boschert und Rosen 2016, S. 61)

Darüber hinaus kann durch skalierbare multiphysikalische Simulationsmodelle eine sehr frühe Absicherung und Beeinflussung von Anlagenkonzepten erreicht werden (Tao et al. 2017, S. 4). Damit wird den bekannten Regeln der Kostenverursachung und -beeinflussung in hohem Maße Rechnung getragen (Ehrlenspiel et al. 2014, S. 13 ff.). Durch die digitale Absicherung lassen sich des Weiteren deutlich höhere technische Verfügbarkeiten realisieren (Siemens AG 2015b) und Produktionsanlagen unter zielgerichteten Einsatz von Ressourcen optimieren (Rosen et al. 2015, S. 567). Digitale Zwillinge können damit als Beitragsleister zum Nachhaltigkeitsgedanken produzierender Unternehmen gesehen werden.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass digitale Zwillinge nicht nur während der Konzept- und Konstruktionsphase erstellt und eingesetzt werden, sondern auch während der Betriebsphase des realen Systems (Boschert und Rosen 2016, S. 72). Für Systemhersteller ist es schwer, eine ausgelieferte Anlage zu analysieren oder zu verändern, wenn sie bereits beim Kunden in Betrieb ist (Tao et al. 2017, S. 2). Der laufende Produktionsprozess kann selten unterbrochen werden oder die Anlage ist geographisch weit entfernt. Unter diesen Rahmenbedingungen gelten digitale Zwillinge als die Ermöglicher von modularen Fertigungskonzepten zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit (Siemens AG 2015b). Durch die Verbindung mit dem realen Zwilling

über den Lebenszyklus hinweg können Anlagen auf neue Werkstücke abgestimmt werden, ohne den Betrieb zu stören.

Darüber hinaus schafft der Datenaustausch die Grundlage für das Predictive Maintenance (Lucke 2017, S. 80). Im Vergleich zur konventionellen Wartung werden bei der prädiktiven Wartung Systemkomponenten erst dann gewartet, wenn sie drohen, ihre Funktion zu verlieren (Hänisch 2017, S. 15 f.). Dies bedeutet für die Anlagenbetreiber vor allem Kostenersparnisse, verbesserte Verfügbarkeiten und höhere Anlagensicherheit (Hänisch 2017, S. 15 f.).

Hinter dem Konzept des digitalen Zwillings verbirgt sich jedoch kein trivialer Ansatz. Reine Geometriedaten eines Produktes bzw. einer Produktionsanlage reichen dafür keinesfalls aus. Nur wenn die Physik einer (geplanten) Maschine im virtuellen Raum hinreichend genau abgebildet wird, ist der digitale Zwilling wirtschaftlich. Sobald die Erkenntnisse einer Simulation nur eingeschränkt übertragbar sind, werden eher Ressourcen verwirkt, als Wettbewerbsvorteile erzielt.

„UNTERNEHMEN, DIE AUSSCHLIESSLICH SOFTWARE VON DER STANGE NUTZEN, WERDEN AN DER DIGITALISIERUNG SCHEITERN.“

Gängige, kommerziell verfügbare Simulationssoftware für Endanwender eignet sich hervorragend zur Beantwortung zahlreicher Fragestellungen. Im Kontext von digitalen Zwillingen stößt Software von der Stange aus unserer Sicht jedoch oft an Grenzen. Die enorme Vielfalt an Produktionsprozessen mit jeweils eigenen, komplexen physikalischen Vorgängen verlangt von jedem Anwender ein Anpassen der Software auf den individuellen Anwendungsfall. Ist im eigenen Unternehmen das

Know-How oder die Möglichkeit zur Softwareanpassung nicht vorhanden und muss ein Dienstleister für das Erstellen des digitalen Zwillings mit eingebunden werden, ist ein Wissensabfluss des Unternehmens unvermeidbar. Die Grundvoraussetzung für das Erstellen eines digitalen Zwillings ist die präzise Modellbildung der realen Anlage. Damit verbunden sind in der Regel Daten von höchster Sensibilität.

Unserer Ansicht nach wird ein Unternehmen daher so lange keine wirtschaftlich praktikablen digitalen Zwillinge erschaffen und nutzen, wie das Know-How von physikalischer Modellierung und maßgeschneiderter Softwareimplementierung nicht im eigenen Unternehmen vorhanden ist. Aktuell ist die In-house-Implementierung von Industrie 4.0-Anwendungen in Unternehmen häufig unzureichend (Uhlmann et al. 2017, S. 337).

04 DIGITALISIERUNG DER ZUFÜHRTECHNIK

Die Zuführtechnik ist eine wichtige Querschnittsdisziplin des Maschinenbaus und Kernbestandteil automatisierter Produktionsanlagen. Die Entwicklung von Zuführsystemen ist bisher weitgehend durch Erfahrungswissen und Trial-und-Error geprägt. In der Konsequenz ist die Hardware-basierte Systemauslegung ressourcenintensiv und kann im späteren Betrieb signifikante Prozessstörungen bewirken. Deshalb besteht seit einigen Jahren ein Market-Pull für digitale Technologien im Bereich Zuführtechnik (vgl. dazu die Arbeiten von Rockland und Stetter 1994; Berkowitz und Canny 1996; Wolfsteiner 1999; Gazic 2009; Hofmann et al. 2013).

Das Konzept des digitalen Zwillings bietet hierbei ein großes technisches und wirtschaftliches Potenzial, sowohl für Zuführtechnikhersteller, Systemintegratoren als auch für den späteren Anlagenbetreiber. Für die Entwicklung von digitalen Zwillingen für Zuführsysteme haben wir unsere Vorgründungsphase intensiv genutzt.

DIGITALE ZWILLINGE IN DER ZUFÜHRTECHNIK

Dabei war das Vorgehen stark wissenschaftlich geprägt und auf Vibrationsfördersysteme fokussiert. Im ersten Schritt wurden auf Basis grundlagentheoretischer Untersuchungen die physikalischen Phänomene in Vibrationswendelförderern, Linearförderern, Vibrationsbunkern und dem strukturellen Unterbau identifiziert.

Danach wurden umfangreiche experimentelle Systemanalysen durchgeführt, um die dominierenden physikalischen Effekte präziser zu charakterisieren. Anschließend erfolgte die Modellbildung und programmiertechnische Implementierung in spezialisierte Softwaremodule. Die Abbildung 01 veranschaulicht den strukturellen Aufbau eines digitalen Zwillings.

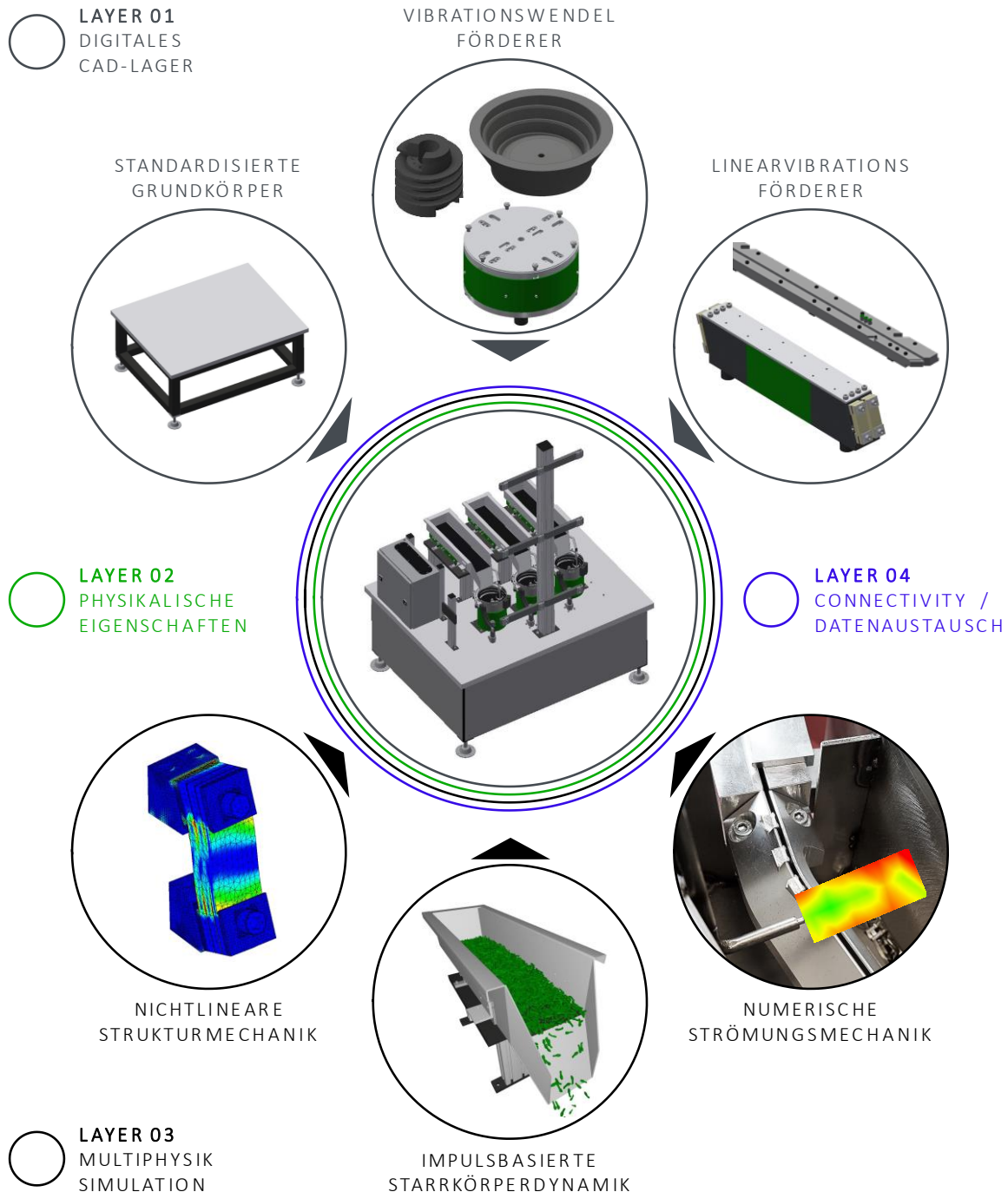


ABBILDUNG 01 | STRUKTUR EINES DIGITALEN ZWILLINGS FÜR ZUFÜHRANLAGEN

DIGITALE ZWILLINGE IN DER ZUFÜHRTECHNIK

Der Layer 01 stellt das digitale Komponentenlager dar. Hier sind die CAD-Daten von Gestellen, Antriebseinheiten und verschiedenen Aufsätzen gespeichert. Jede Komponente ist im Layer 02 in einer erweiterten Datenstruktur mit umfassenden physikalischen Eigenschaften ausgestattet, welche die Objekte auch in der Realität besitzen. Diese Eigenschaften sind bereits auf die probabilistische Multiphysik-Simulation (Layer 03) abgestimmt. So stehen zum Beispiel für das Softwaremodul impulsbasierte Starrkörperdynamik Reibungs- und Stoßkoeffizienten als Eingangsparameter in Mittelwert und statistischer Beschreibung bereit. Damit werden aus den rein rechnergestützten Geometrierepräsentationen virtuelle physikbasierte Körper, die miteinander in Wechselwirkung treten können. Die Möglichkeiten der Interaktion zwischen den Körpern hängt dabei von den gewählten Softwaremodulen und der Problemstellung ab. Der vierte Layer befindet sich gerade im Ausbau und beinhaltet Möglichkeiten des Datenaustauschs von realer und digitaler Zuführanlage.

Der schrittweise Aufbau eines Zwillings einer geplanten Zuführanlage geschieht über die verschiedenen Phasen unseres Anlagenentwicklungsprozesses (Abbildung 02). Im ersten Schritt müssen dazu die CAD-Daten des Förderguts ebenfalls mit physikalischen Eigenschaften versehen werden.

Anschließend erfolgt das Layout der Zuführanlage durch Kombination und Anordnung der Komponenten aus dem Datenlager (Schritt 01 Digital Set-up). In dieser frühen Phase werden bereits erste Fördergutanalysen im digitalen Raum durchgeführt. Aus Gründen der Rechenzeit werden die Softwaremodule noch ungekoppelt sequentiell genutzt, um schnelle Aussagen über das Fördergutverhalten zu gewinnen. Reale Musterteile werden hierfür nicht benötigt.

Mit der Kenntnis über das Fördergutverhalten startet die Deep Data Analysis (Schritt 02). Hierbei wird der digitale Zwilling um die fördergutspezifischen Komponenten zum automatischen Ordnen und Bereitstellen, die sogenannten Ordnungsschikanen, erweitert. Durch die digitale Abbildung des Förderprozesses lässt sich ein Vergleich von Lösungsalternativen erzielen. Unser digitaler Zwilling hat in Schritt 02 sozusagen mehrere Identitäten. Anhand von Leistungskennzahlen kann das beste Konzept gewählt werden, welches im nachfolgenden Schritt 03 ausdetailliert wird. Hierbei werden die einzelnen Softwaremodule entsprechend kombiniert und probabilistische Effekte mitberücksichtigt, um ein digital optimiertes Zuführsystem zu erzeugen. Zur Fertigungsfreigabe für die Manufacturing the Bits and Bytes (Schritt 04) spiegelt der digitale Zwilling die geplante, zu fertigende Zuführanlage wider.

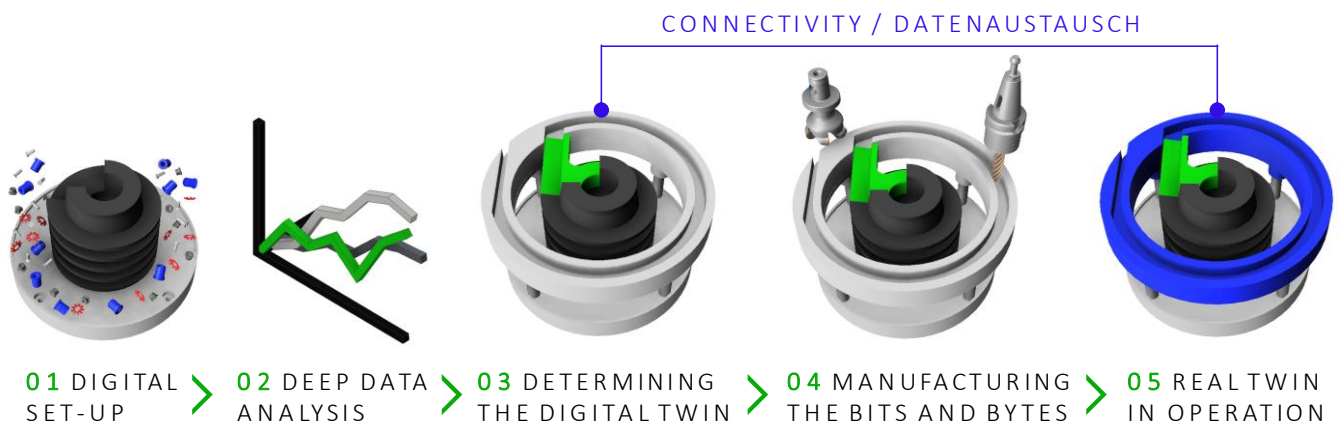


ABBILDUNG 02 | DIE FÜNF SCHRITTE IM ANLAGENENTWICKLUNGSPROZESS

Alle parametrischen Eigenschaften für die Wirkelemente wie Abweiser, Luftdüsen etc. werden für den realen Zwilling aus der digitalen Welt direkt übernommen.

Die Abbildung 03 zeigt ein Beispiel für einen digitalen Zwilling vor der Fertigungsfreigabe (04 Manufacturing the Bits and Bytes). Im Regelfall liegt bei der Inbetriebnahme ein Plug-&-Feed vor. Dies bedeutet, dass ein System ein Direktläufer ist und nach der Montage beim ersten Einschalten alle Leistungskriterien sofort erfüllt.

Es gilt zu beachten, dass jedes multiphysikalische Modell mit numerischen und abstraktionsbedingten Abweichungen behaftet ist. Diese können eine Anpassung am realen Zwilling notwendig machen, welche in den digitalen Zwilling zurückgespielt werden müssen. Dies geschieht derzeit noch manuell. 3D-Scanning für komplexe Wirkflächengeometrien bietet hier einen guten Lösungsansatz.

Während der Betriebsphase beim Kunden (Schritt 05) ist der reale Zwilling in einer automatisierten Produktionsanlage integriert, die in der Regel im Dauerbetrieb läuft. Fragestellungen zu Auswirkungen von Änderungen am Fördergut oder der Integration anderer Fördergüter in die gleiche Anlage können daher konventionell nur sehr kostenaufwändig oder gar nicht beantwortet werden. Mit dem digitalen Zwilling lassen sich diese Fragen klären, ohne den laufenden Betrieb zu stören. Abgeänderte oder neue Fördergüter können im digitalen Zwilling aufwandsarm analysiert werden. Die Ableitung von zielgerichteten Maßnahmen kann so schnell und einfach erfolgen. Ferner können Daten des Steuergerätes der Antriebe sowie Sensordaten von zum Beispiel Lichtschranken genutzt werden, um Wartungsfälle anzuzeigen und Leistungsdaten abzugleichen. Diese Daten sollen künftig genutzt werden, um die Verschleißmodelle für den digitalen Zwilling anzulernen.

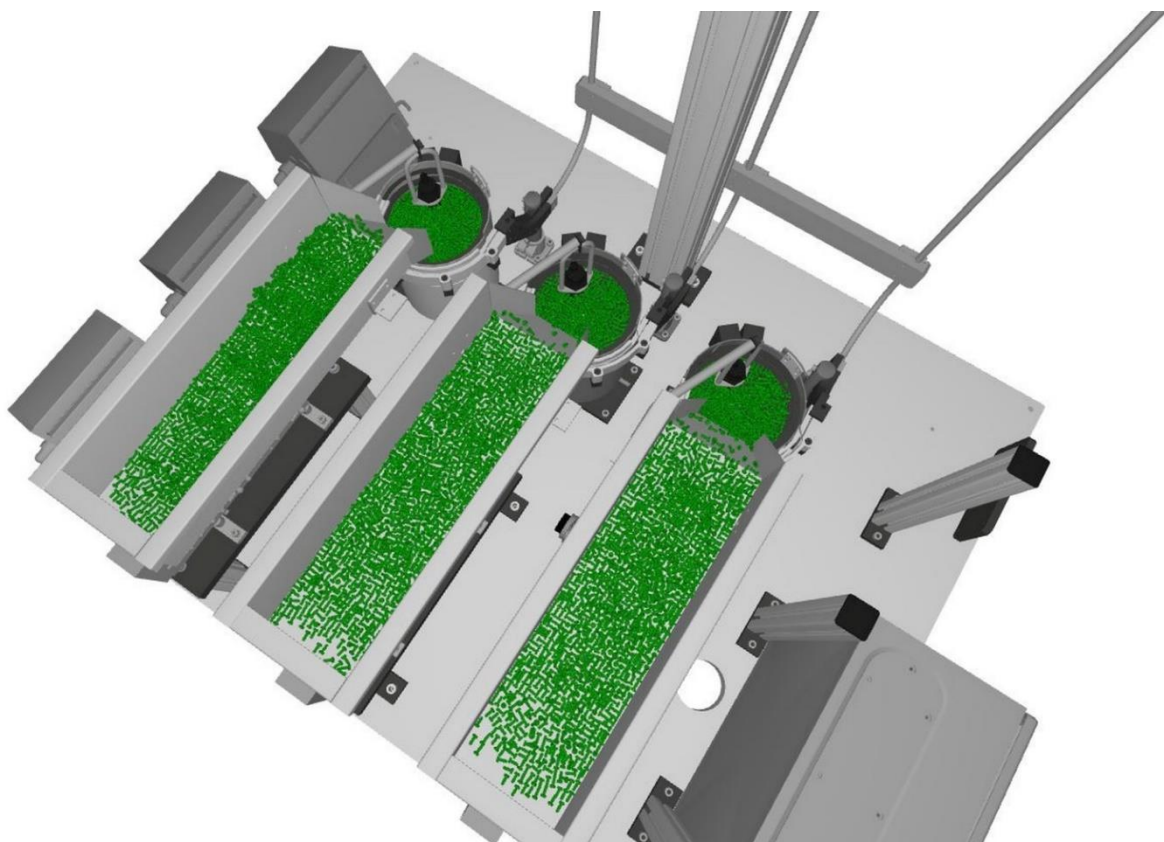


ABBILDUNG 03 | DIGITALER ZWILLING VOR FERTIGUNGSFREIGABE (SCHUTZHAUBE AUSGEBLENDET)

05 NUTZEN

Aus der bisherigen praktischen Anwendung unserer Technologie können wir sieben wesentliche Nutzen ableiten. Sie gelten für uns als Systemhersteller sowie für Systemintegratoren und Anlagenbetreiber.

A | DESIGN FOR FEEDING (DFF)

Im allgemeinen Entwicklungsprozess von Produktionsanlagen setzt die Konstruktion und Auslegung von Zuführsystemen erst sehr spät ein. Der Grund dafür ist die oftmals mangelnde Verfügbarkeit von brauchbaren Musterteilen, wenn Zuführsysteme über Hardware-basierte Prototypen ausgelegt werden. Der digitale Zwilling ermöglicht einen deutlich früheren Einstieg in den Entwicklungsprozess. Eine technische Zeichnung des Fördergutes mit Toleranz- und Werkstoffangaben oder CAD-Daten reichen aus, um mit der Entwicklung der Zuführsysteme zu starten. Dadurch wird erstmals eine zielgerichtete Produktbeeinflussung aus Sicht der Zuführtechnik möglich. Wir haben dies Design for Feeding (DFF) genannt. So können beispielsweise mit Hilfe der Simulation andere Schwerpunktlagen geprüft oder die Verhakungsgefahr einzelner Geometrien analysiert werden. Für den Anwender bedeutet dies eine Kostenersparnis, wenn durch Anpassung der Geometrie des Fördergutes die Komplexität der Zuführanlage reduziert wird. Auch unabhängig vom später gewählten Zuführsystem kann die Simulation herangezogen werden, um die Zuführbarkeit des Fördergutes zu bewerten.

B | LEISTUNGSSTEIGERUNG

Der digitale Vergleich von Lösungsalternativen und die Algorithmen-gestützte Optimierung von Wirkelementen in Ordnungsschikanen ermöglichen eine Leistungssteigerung der Zuführsysteme. In einer Studie konnte so eine Leistungssteigerung in der Ausbringleistung von bis zu 350 % erzielt werden, verglichen mit dem Trial-und-Error-basierten Vorgehen.

C | REPRODUZIERBARKEIT

Die Umsetzung des digitalen Zwillings eines Zuführsystems erfolgt grundsätzlich mit rechnergestützten Fertigungsverfahren und auf Basis technischer Zeichnungen. Dadurch kann eine hohe Reproduzierbarkeit der Systeme gewährleistet werden. Zudem werden Skaleneffekte bei den Beschaffungskosten erzeugt, wenn mehrere gleiche Zuführsysteme oder gespiegelte Varianten benötigt werden.

D | ROBUSTHEIT

Im Rahmen der Betrachtung der Geometry as Manufactured, also der Berücksichtigung von fertigungsbedingten Toleranzen am Fördergut oder Verschleißerscheinungen an den Wirkflächen von Ordnungsschikanen, lässt sich die Robustheit einer Zuführlösung prüfen. Damit können Zuführkonzepte mit kleinen Prozessfenstern optimiert werden, um stabilere Lösungen zu erzeugen.

E | PLUG-&-FEED

Mit der Umsetzung des digitalen Zwillings in eine reale Zuführanlage kann die Inbetriebnahmezeit signifikant reduziert werden. Die Anlagen sind damit schneller beim Kunden und dieser kann die Zuführsysteme früher in seinen Kernproduktionsprozess integrieren. Insbesondere bei Produktionsprozessen mit kurzen Produktlebenszyklen oder hohen Anforderungen an die Time-to-Market ist dies von entscheidender Bedeutung für den Anwender. Ist ein Zuführsystem ein Direktläufer, erfüllt also bei der Erstinbetriebnahme die vereinbarten Leistungsanforderungen gemäß Lastenheft, ordnen wir dies unter dem Begriff Plug-&-Feed ein.

F | NACHHALTIGKEIT

Reduzierte Entwicklungs-, Inbetriebnahme- und Produktionsunterbrechungszeiten durch digitale Zwillinge tragen zum Nachhaltigkeitsgedanken produzierender

Unternehmen bei. Insbesondere bei der Inbetriebnahme kann eine Schonung von Ressourcen erreicht werden, indem beispielsweise die Verschrottung von Hardware-basierten Prototypen vermieden wird.

G | WANDLUNGSFÄHIGKEIT

In der Fachliteratur wird das Konzept des digitalen Zwillings als ein Ermöglicher für wandlungsfähige Produktionssysteme genannt (vgl. Abschnitt 03). Dies trifft auf Zuführsysteme in besonderem Maße zu. Trial-und-Error-basierte Zuführanlagen sind in der Regel starr auf ein einziges Fördergut ausgelegt. Ist die Zuführanlage des Weiteren beim Kunden in Betrieb, ist die Zugänglichkeit stark eingeschränkt. Diese Situation wird durch geographische Aspekte oft verschärft. Durch den digitalen Zwilling können von Beginn an systematische Schnittstellen eingebracht und die Strukturmechanik so ausgelegt werden, dass im Laufe des Betriebs weitere Fördergüter integriert werden können. Dies schafft beim Anlagenbetreiber eine bislang neue Dimension an Wandlungsfähigkeit in den Produktionsanlagen.

05 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Konzept des digitalen Zwillings stellt ein echtes Innovationspotenzial für den Maschinenbau dar. Dies gilt besonders für die Zuführtechnik, welche ein Kernbestandteil automatisierter Produktionsanlagen ist. Der digitale Zwilling ist grundsätzlich eine integrierte, multiphysikalische, probabilistische Multiskalen-Simulation eines komplexen Produkts. Dabei werden die besten verfügbaren physikalischen Modelle und Sensordaten genutzt, um den Zustand eines korrespondierenden realen Zwillings widerzuspiegeln. In der Zuführtechnik dominierend sind Vibrationsfördersysteme. Hierbei ist eine multiphysikalische Betrachtung unerlässlich, um die Erkenntnisse von der digitalen Welt auf den realen Zwilling zu übertragen. Dies realisieren wir in unserem

Start-up durch spezifische digitale Strukturen, physikbasierte Modellbildung und eigene Softwareimplementierung. So können wir sieben wesentliche Nutzen für uns und unsere Kunden generieren. Besonders hervorzuheben sind das Design For Feeding (DFF), das Plug-&-Feed sowie die Wandlungsfähigkeit.

Im nächsten Schritt wollen wir an der Rückkopplung zwischen realen und digitalen Zwilling stärker arbeiten. Hierbei legen wir den Fokus auf die Verschleißsimulation von funktionsgebenden Wirkflächen durch neue empirische Modelle. Zudem möchten wir das Predictive Maintenance ausbauen, um die Lockerung von Schrauben, den Bruch von Federn oder die Alterung von Gummifedern präziser beurteilen zu können. Darüber hinaus erweitern wir die Anwendung unserer digitalen Technologien derzeit auf andere Zuführsysteme wie Zentrifugen, Steilförderer und Plattenhubförderer.

LITERATURVERZEICHNIS

- Abele, E., Reinhart, G. (2011): Zukunft der Produktion, Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen, München, Carl Hanser Verlag 2011.
- Anderl, R. (2016): A Digital Twin Perspective – A Methodology to Generate manufactured Component Instances from Part Types, Department for Computer Integrated Design (DiK), Department of Mechanical Engineering, Technische Universität Darmstadt, 12. Dezember 2016.
- Berkowitz, D. R., Canny, J. (1996): Designing Parts Feeders Using Dynamic Simulation, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 1996), Minneapolis, Minnesota, USA, 22.-28. April 1996, S. 1127-1132.
- Boschert, S., Rosen, R. (2016): Digital Twin – The Simulation Aspect, in: Hehenberger, P., Bradley, D. (Hrsg.): Mechatronic Futures, Challenges and Solutions for Mechatronic Systems and their Designers, Schweiz, Springer International Publishing 2016, S. 59-74.
- Cerrone, A., Hochhalter, J., Heber, G., Ingraffea, A. (2014): On the Effects of Modeling As-Manufactured Geometry, Toward

Digital Twin, in: International Journal of Aerospace Engineering, Volume 2014, Article ID 439278, S. 1-10.

Ehrlenspiel, K., Kiewert, A., Lindemann, U., Mörtl, M. (2014): Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung, 7. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg 2014.

Frädrich, T., Nyhuis, P. (2009): Aerodynamische Zentrifuge – Vereinzeln und Orientieren mit Luft, in: Zäh, M., Reinhart, G. (Hrsg.): Zuführtechnik, Herausforderung der automatisierten Montage!, München, Herbert Utz Verlag GmbH 2009, S. 5-15-21.

Gazic, Z. (2009): Nichtlineare Dynamik von Vibrationsförderern, Diss. Technische Universität München 2008, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 13 Nr. 55, Düsseldorf, VDI-Verlag 2009.

Glaessgen, E., Stargel, D. (2012): The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles, in: The American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, Special Session on the Digital Twin, Honolulu, Hawaii, USA, 23.-26. April 2012, S. 1-14.

Hänisch, T. (2017): Grundlagen Industrie 4.0, in: Andelfinger, V. P., Hänisch, T. (Hrsg.): Industrie 4.0, Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern, Wiesbaden, Springer Gabler 2017, S. 9-32.

Hanukaev, M., Huwig, C., Boschert, S., Müller, S. (2017): System- und Multiphysiksimulation in der CTP Entwicklung, in: Eigner, M., Koch, W., Muggeo, C. (Hrsg.): Modellbasierter Entwicklungsprozess cybertronischer Systeme, Der PLM-unterstützte Referenzentwicklungsprozess für Produkte und Produktionssysteme, Teil V Modellbildung und Simulation, Berlin, Springer Vieweg 2017, S. 119-130.

Hofmann, D., Huang, H., Reinhart, G. (2013): Automated Shape Optimization of Orienting Devices for Vibratory Bowl Feeders, ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering 2013, 135. Jg., Nr. 5, S. 051016-1-051016-8.

Jahn, M. (2017): Industrie 4.0 konkret, Ein Wegweiser in die Praxis, Wiesbaden, Springer Gabler 2017.

Lucke, D., Defranceski, M., Adolf, T. (2017): Cyberphysische Systeme für die prädiktive Instandhaltung, in: Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T., ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0, Band 1 Produktion, 2., erweiterte und bearbeitete Auflage, Teil II Cyber-physische Produktionssysteme (CPPS), Berlin, Springer Vieweg 2017, S. 75-91.

Rockland, M., Stetter, R. (1994): Flexibles Ordnen und Zuführen, Einbinden physikalischer Effekte in die 3D-Bewegungssimulation, in: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 1994, 89. Jg., Nr. 1-2, S. 55-57.

Rosen, R., Boschert, S. (2017): Modellbildung und Simulation, in: Eigner, M., Koch, W., Muggeo, C. (Hrsg.): Modellbasierter Entwicklungsprozess cybertronischer Systeme, Der PLM-unterstützte Referenzentwicklungsprozess für Produkte und Produktionssysteme, Teil V Modellbildung und Simulation, Berlin, Springer Vieweg 2017, S. 115-118.

Rosen, R., von Wichert, G., Lo, G., Bettenhausen, K. D. (2015): About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing, in: International Federation of Automatic Control (IFAC) (Hrsg.): IFAC-PapersOnLine 2015, 48 Jg., Nr. 3, S. 567-572.

Schmid, S. (2006): Automatisierte Ordnungs- und Kommissionierzelle zur hochflexiblen Bereitstellung von Werkstücken in der Montage, Diss. Universität Stuttgart 2005, IPA-IAO Forschung und Praxis 435, Heimsheim, Jost Jetter 2006.

Siemens AG (2015a): Individuals in the swarm, Flexible and cost-efficient product packaging with the innovative modular Multi-Carrier-System, in: advance 2015, o. Jg., Nr. 2, S. 10-13.

Soder, J. (2017): Use Case Production, Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0, in: Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T., ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0, Band 1 Produktion, 2., erweiterte und bearbeitete Auflage, Teil I Industrie-4.0-Anwendungsszenarien, Berlin, Springer Vieweg 2017, S. 1-25.

Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., Sui, F. (2017): Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data, in: International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2017, o. Jg., o. Nr., S. 1-14.

Uhlemann, T. H.-J., Lehmann, C., Steinhilper, R. (2017): The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0, in: Procedia CIRP 2017, 61 Jg., o. Nr., S. 335-340. The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering.

Impuls-Stiftung – Impuls-Stiftung für den Maschinenbau, den Anlagenbau und die Informationstechnik (2014): Implications of Chinese Competitor Strategies for German Machinery Manufacturers, Frankfurt, Stuttgart 2014.

Wolfsteiner, P. (1999): Dynamik von Vibrationsförderern, Diss. Technische Universität München (1999), Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2 Nr. 511, Düsseldorf, VDI-Verlag 1999.

INTERNETQUELLEN

Siemens AG (2015b): Der digitale Zwilling, Digitalisierung im Maschinenbau, in: Siemens - Das Magazin, Home, Industrie, Digitalisierung im Maschinenbau, Der digitale Zwilling, Online-Artikel vom 17. November 2015. Verfügbar unter: <https://www.siemens.com/customer-magazine/de/home/industrie/digitalisierung-im-maschinenbau/der-digitale-zwilling.html> (Zuletzt abgerufen: 10.07.2017)

IMPRESSUM

AUTOREN



Daniel Hofmann (li.) und Florian Stirner (re.) sind die Gründer der Hofmann & Stirner Zuführsysteme GmbH. Daniel hat Maschinenbau studiert und spricht die Sprache der technischen Mathematik fließend. Florian studierte Maschinenbau und Management. Er entwickelt innovative Zuführsysteme sowie IoT-Servicedienstleistungen.

HERAUSGEBER

Dieses White Paper für die Zuführtechnik wird von der Hofmann & Stirner Zuführsysteme GmbH herausgegeben. Das Unternehmen ist ein Start-up des digitalen Maschinenbaus und wurde im Mai 2016 gegründet. Hofmann & Stirner entwickelt und nutzt intensiv digitale Technologien zur Auslegung, zur Herstellung und zum Vertrieb automatisierter Zuführsysteme. Erfahren Sie mehr unter www.hofmannstirner.de.

Hofmann & Stirner Zuführsysteme GmbH
Heindlmühlenweg 8, 85049 Ingolstadt
Geschäftsführung: Daniel Hofmann, Florian Stirner
Sitz: Ingolstadt, Amtsgericht Ingolstadt, HRB 7875
kontakt@hofmannstirner.de

ZITIERVORSCHLAG

Hofmann, D., Stirner, F. (2017): Digitale Zwillinge in der Zuführtechnik, in: Hofmann & Stirner Zuführsysteme GmbH (Hrsg.): White Paper Zuführtechnik 2017, o. Jg., Nr. 01, Ingolstadt, S. 1-11.