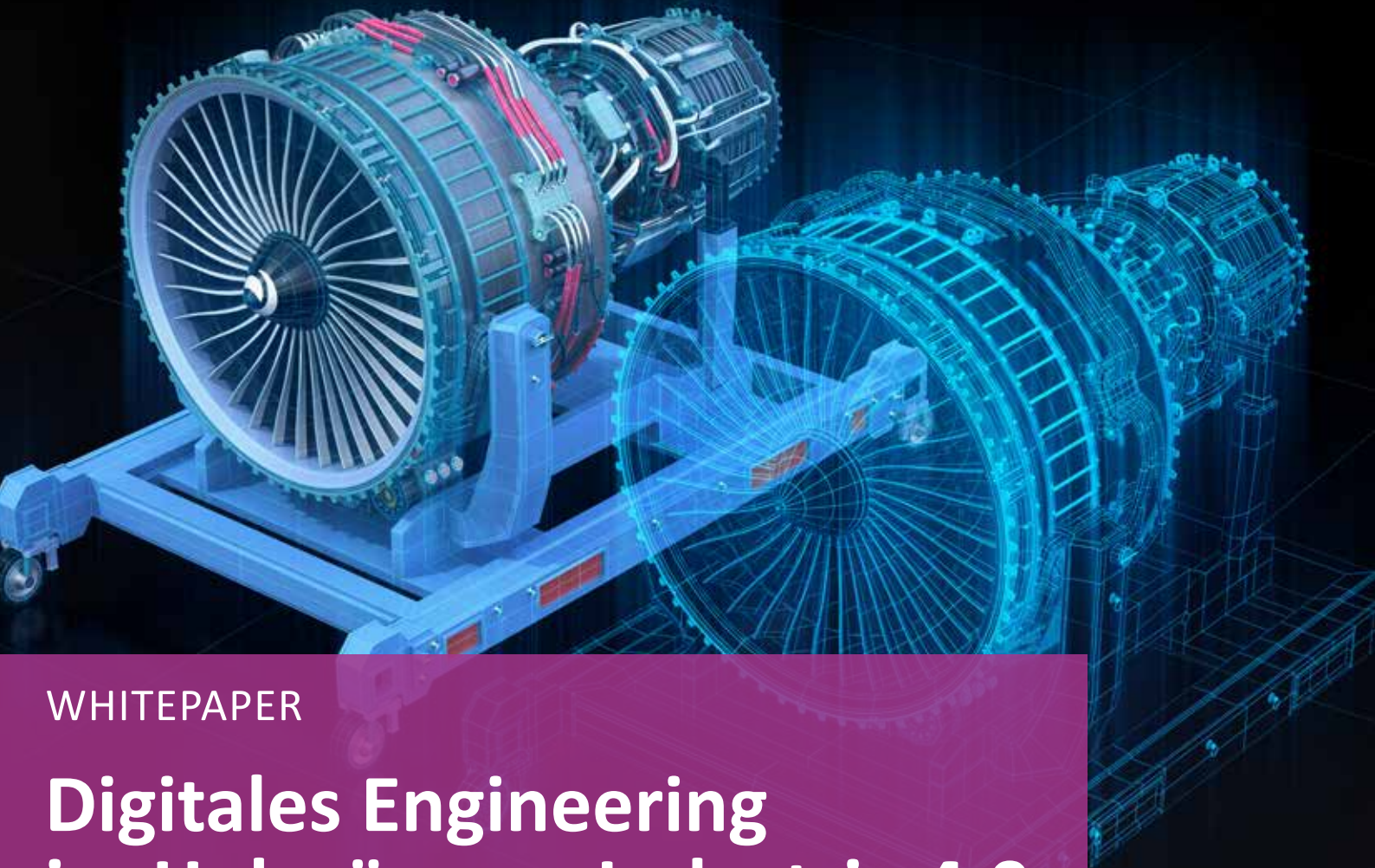


**ZD.B**

DIGITAL PRODUCTION  
& ENGINEERING



WHITEPAPER

# Digitales Engineering im Holozän von Industrie 4.0 und Business Transformation

Globale Entwicklungen und Herausforderungen

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kapitel 01: Digitales Engineering im Holozän von Industrie 4.0 und Business Transformation</b>	<b>1</b>
Nele Oldenburg und Michael Russ, Krones AG Dr.-Ing. Arnorld Herp, Heitec AG Dr.-Ing. Helmut Meitner, Dräxlmaier Group	
<b>Kapitel 02: Management, Leadership und der Wille zum Wandel</b>	<b>4</b>
Nele Oldenburg und Michael Russ, Krones AG Dr.-Ing. Arnorld Herp, Heitec AG	
<b>Kapitel 03: Digitale Transformation und seine Auswirkungen auf Organisation und Unternehmenskultur</b>	<b>6</b>
Nele Oldenburg und Michael Russ, Krones AG	
<b>Kapitel 04: Werte und das Unternehmen im Holozän von IoT, Industrie 4.0 &amp; Co.</b>	<b>8</b>
Dr. Bernhard Valnion, d1g1tal AGENDA UG	
<b>Kapitel 05: Veränderungsdruck als Folge von Globalisierung und vermehrter Komplexität</b>	<b>10</b>
Dr.-Ing. Dirk Ortloff, camLine GmbH Dr.-Ing. Klaus Funk, Zentrum Digitalisierung.Bayern	
<b>Kapitel 06: Methoden, Prozesse, Tools</b>	<b>12</b>
Dr.-Ing. Klaus Funk, Zentrum Digitalisierung.Bayern Dr.-Ing. Dirk Ortloff, camLine GmbH Dr. Bernhard Valnion d1g1tal AGENDA UG Dr.-Ing. Markus Rickert, Landesforschungsinstitut des Freistaats Bayern, fortiss Clemens Schlegel, Schlegel Simulations GmbH Jan Vollmar, Siemens AG Michael Probst, ISKO engineers AG Christian Erlinger, COSCOM Computer GmbH Dr.-Ing. Helmut Meitner, Dräxlmaier Group Dr.-Ing. Arnorld Herp, Heitec AG Christof Gebhardt, CADFEM GmbH Michele del Mondo, PTC GmbH	
<b>Kapitel 07: Standards</b>	<b>20</b>
Dr.-Ing. Dirk Ortloff, camLine GmbH Clemens Schlegel, Schlegel Simulations GmbH Christof Gebhardt, CADFEM GmbH	
<b>Kapitel 08: Syntax, Semantik und Informationsmodelle</b>	<b>21</b>
Dr.-Ing. Markus Rickert, Landesforschungsinstitut des Freistaats Bayern, fortiss	
<b>Kapitel 09: Data Warehouse und Big Data</b>	<b>24</b>
Dr.-Ing. Dirk Ortloff, camLine GmbH	
<b>Kapitel 10: Digitale Durchgängigkeit und Interoperabilität</b>	<b>26</b>
Dr.-Ing. Helmut Meitner, Dräxlmaier Group Jan Vollmar, Siemens AG Dr.-Ing. Markus Rickert, Landesforschungsinstitut des Freistaats Bayern, fortiss	

<b>Kapitel 11: Wandel der Systemarchitekturen der Engineering-IT</b>	<b>29</b>
Michele del Mondo, PTC GmbH	
<b>Kapitel 12: Verständnis der Ressource IT im Wandel – Integration und Interoperabilität das Maß der Dinge</b>	<b>32</b>
Christian Erlinger, COSCOM Computer GmbH Norbert Finkel, dmc-ortim GmbH	
<b>Kapitel 13: Digitaler Zwilling</b>	<b>34</b>
Dr.-Ing. Helmut Meitner, Dräxlmaier Group Christof Gebhardt, CADFEM GmbH	
<b>Kapitel 14: Hands-on: Was andere bereits erfolgreich vorgemacht haben</b>	<b>37</b>
Nele Oldenburg und Michael Russ, Kronos AG Dr.-Ing. Arnorld Herp, Heitec AG Dr.-Ing. Helmut Meitner, Dräxlmaier Group Christof Gebhardt, CADFEM GmbH Christian Erlinger, COSCOM Computer GmbH	
<b>Danksagung</b>	<b>43</b>

# Digitales Engineering im Holozän von Industrie 4.0 und Business Transformation.

## Einleitung und grundsätzliche Gedanken des Arbeitskreises 8 am Zentrum Digitalisierung.Bayern

**NELE OLDENBURG und MICHAEL RUSS, KRONES AG;  
DR.-ING. ANORLD HERP, HEITEC AG;  
DR.-ING. HELMUT MEITNER, DRÄXLMAIER GROUP**

Es gibt globale Entwicklungen und Trends, denen wir uns alle nicht entziehen können. Es hilft nichts, sie zu ignorieren, abzuwarten oder andere machen zu lassen, in der Hoffnung, so schlimm wird es wohl doch nicht werden. Viel zielführender ist es, sich selbst zu informieren und sich kritisch mit den Auswirkungen auf das persönliche und berufliche Umfeld auseinanderzusetzen und diese aktiv zu gestalten – frei nach dem Motto von Seneca: Den Willigen führt das Schicksal, den Unwilligen zerrt es dahin. Mit diesem Whitepaper will die Arbeitsgemeinschaft des Arbeitskreises 08 „Digitales und durchgängiges Engineering“ des Zentrums Digitalisierung.Bayern (ZD.B) Hintergrundformationen und Anregungen geben, wie sich Unternehmen im Themenfeld „Engineering im Kontext von Industrie 4.0/IoT/CPS“ den Herausforderungen erfolgreich stellen können.

Die Digitalisierung in Engineering und Produktion wird durch die rasante technologische Entwicklung erst ermöglicht und beschleunigt. Bereits in den 1980er Jahren gab es Konzepte für Computer Aided Engineering (CAE) und Computer Aided Manufacturing (CAM). Aber erst durch die exponentielle Steigerung der Leistungsfähigkeit von Informations- und Kommunikationstechnik (IuK) lassen sich solche Konzepte im Unternehmen und ganzen Wertschöpfungsketten durchgängig realisieren. Die steigende Leistungsfähigkeit von IuK, meist verbunden mit sinkenden Preisen, zeigt sich in vier technologischen Entwicklungen:

- schnellere Prozessoren
- größere und schnellere Datenspeicher
- schnellere Kommunikationsnetze
- kleinere Sensoren und Aktoren.

Diese technologischen Entwicklungen sowie die drastisch gesunkenen Kosten sind die Grundlage für eine disruptive Veränderung von Prozessen, Produkten und Geschäftsmodellen.

Eine auffällige Entwicklung ist die weiter zunehmende Komplexität in allen Gebieten, im gesellschaftlichen und ökonomischen Umfeld u. a. von Globalisierung und Urbanisierung, aber insbesondere auch im Bereich der Vernetzung beziehungsweise Digitalisierung (Stichwort: „Industrie 4.0“). Diese schnell zunehmende Komplexität ist Treiber für mehr Volatilität, Ungewissheit und Mehrdeutigkeit, sodass das Management in hohem Maße gefordert wird. Änderungen, ob klein oder groß, führen zu schwer vorhersehbaren Auswirkungen. Neue Prognose- und Planungstechniken sind also gefordert. Immer öfter gilt es, eine Sowohl-als-auch-Strategie zu verfolgen.

Die von zunehmender **Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambiguität/Ambivalenz** (nach den angelsächsischen Bezeichnungen mit **VUCA** abgekürzt) geprägte Welt funktioniert anders als das, was uns heute vertraut ist. Hier kann es nur individuelle Lösungen geben, Erprobtes funktioniert nicht mehr – Best Practices werden schnell zu Past Practices. Da langfristige Pläne nicht mehr funktionieren (prominente Beispiele: Flughafen BER, Elbphilharmonie, Stuttgart 21), müssen wir in vielen kleinen schnellen aufeinander aufbauenden Schritten (durchaus als „Experimente“ verstanden) vorgehen, um schnell zu reagieren und unser Vorgehen schnell anzupassen.

Produkte unterliegen immer kürzeren Lebenszyklen bei gestiegenen Entwicklungskosten, Kundenanforderungen und Wettbewerbsverhältnissen. Diese ändern sich immer schneller und führen unternehmensintern zu immer schnelleren Änderungen der strategischen Ziele, Vorgaben oder Geschäftsmodellen. Wie viele der z. B. im MDAX vertretenen Unternehmen von 1970, 1980 oder 1990 gibt es noch? Oder denken wir nur an die Dominanz von Nokia bei mobilen Telefonen. Etliche Firmen sind von der Bildfläche verschwunden. Auch die deutsche Automobilindustrie steht derzeit vor großen Herausforderungen.

Ein globaler und sich ebenfalls beschleunigender Trend ist die Digitalisierung in allen Lebensbereichen. Sogenannte Mobiltelefone, die heute eher nur noch am Rande zum Telefonieren benutzt werden, sind zum unentbehrlichen Helfer in der Selbstorganisation geworden: Zu jeder Zeit und – in Deutschland allerdings nur fast – an jedem Ort können wir einen Merktzettel schreiben, einen Termin planen, mit anderen multimediale Informationen teilen, Lautstärken, Winkel und Abstände messen, uns an unbekanntem Umgebungen sicher zu einem Ziel navigieren lassen, etc. Selbstverständlich haben wir hier akzeptiert, dass derartige Tools hilfreich im täglichen Leben sind, weil vieles schneller und flexibler damit erledigt werden kann. Im industriellen Kontext jedoch sind wir an vielen Stellen noch meilenweit davon entfernt.

**Industrial Engineering** bezeichnet das Arbeitsgebiet, in dem es um die Gestaltung, Planung und Optimierung von Leistungserstellungsprozessen im weitesten Sinne mit ingenieurwissenschaftlichen Methoden und der Managementlehre geht. In der Umsetzung handelt es sich immer um Arbeitsgestaltung. In diesem Whitepaper möchten wir im Sinne einer Hilfe zur Selbsthilfe eine Orientierung im Dschungel der digitalen Transformation geben. Den individuellen Weg zu einem nachhaltigen, durchgängig digitalen industriellen Engineering muss jedoch der Einzelne selbst planen und auch umsetzen.

Mit „Einzelner“ meinen wir alle Führungskräfte und Mitarbeiter. Eine gute aufgeschlossene Führungskraft alleine, ohne sein Thema, wird den Wandel hin zur digitalen Transformation nicht erfolgreich bewältigen können – ebenso nicht die engagierten Mitarbeiter mit blockierenden, dem Neuen nicht aufgeschlossenen Führungskräften.

Das Engineering der Zukunft im Kontext der Industrie 4.0 erfordert einen Wandel oder im besten Fall eine Anpassung der Firmenkultur. Wer flexibel auf die VUCA-Herausforderungen reagieren können will, muss die bisherige Strategie, Organisationsformen und Führung hinterfragen und teilweise radikal anpassen.

**Führung** bedeutet Empathie, Förderung der Individualität und Kreativität und die Bereitstellung der erforderlichen Ressourcen. Aber auch jeder Mitarbeiter muss seinen bisherigen Arbeitsstil hinterfragen:

- Wie passt mein aktueller Führungs- bzw. Arbeitsstil zu den aktuellen Herausforderungen?
- Welches Wissen und welche Fähigkeiten sichern meine (Führungs-)Kompetenz auch in Zukunft?
- Wie ist meine Haltung gegenüber den zu erwartenden Veränderungen der VUCA-Welt?
- Wie gestalte ich Wandel und Transformation?
- Wodurch behalte ich meine Freude und meine Motivation in unwägbar Zeiten?

Treiber für die Industrie 4.0 sind einerseits die mit der Digitalisierung einhergehenden neuen technologischen Möglichkeiten zur zeitlichen und inhaltlichen Flexibilisierung und andererseits die wirtschaftlichen Aspekte, wie Erhöhung der Wertschöpfung durch höhere Produktivität und/oder Kostensenkung. Im McKinsey Digital Compass werden acht vornehmlich effizienzorientierte Treiber konkretisiert [1]:

1. Ressourcen und Prozesse: Produktivitätssteigerungen von 3 bis 5 Prozent sind möglich, etwa durch Smart Energy oder Produktionsoptimierung in Echtzeit.
2. Maschinenauslastung: Ausfallzeiten von Maschinen könnten um 30 bis 50 Prozent sinken – mit Hilfe von z. B. Predictive Maintenance und Remote Monitoring/Remote Control.
3. Arbeit: In technischen Berufen sind Produktivitätssteigerungen von 45 bis 55 Prozent durch Automatisierung von Wissensarbeit möglich; Beispiele dafür sind die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter und Digital Performance Management.
4. Lagerhaltung: Kostensenkungen um 20 bis 50 Prozent sind drin – dank 3D-Druck und Echtzeit-Optimierung der Lieferkette.
5. Qualität: Ausgabensenkungen um 10 bis 20 Prozent sind möglich durch statistische und fortgeschrittene Prozesskontrollen sowie digitales Qualitätsmanagement.
6. Gleichgewicht von Angebot und Nachfrage: Datengestützte Nachfrageprognosen und datengetriebenes Design-to-Value erhöhen die Genauigkeit von Vorhersagen um mindestens 85 Prozent.
7. Time-to-Market: Unternehmen können 20 bis 50 Prozent schneller am Markt sein, ermöglicht unter anderem durch beschleunigte physische Versuche, Virtual Prototyping und Simultaneous Engineering
8. Wartung und Reparatur: potenzielle Kostensenkungen um 10 bis 40 Prozent, etwa durch vorausschauende Wartung und Remote Monitoring.

Um diese Zielvorstellungen umsetzen zu können, bedarf es Menschen, die motiviert, kreativ, methodisch und fachlich bestens ausgebildet sind, und über ausgeprägte Softskills zur Kommunikation und dem erforderlichen Miteinander verfügen.

Der zentrale technologische Fokus des digitalen Engineerings von Industrie 4.0 und digitaler Transformation liegt in der datentechnischen Vernetzung eines Produkts oder einer prozess-technischen Anlage über den kompletten Wertschöpfungsprozess hinweg. Dies beginnt bereits bei der Produkt- bzw. Projektentwicklung und endet letztlich erst mit dem Rückbau der Anlage beziehungsweise dem Recycling.

**Digitales Engineering** im Sinne von Industrie 4.0 soll eine Datendurchgängigkeit zur vereinheitlichten Verwaltung und Steuerung sämtlicher spezifischer Produkt- bzw. Anlagendaten über den gesamten Wertschöpfungsprozess sicherstellen. Aufgrund der wachsenden Globalisierung und Internationalisierung von Konzernen ist auch ein zentrales Informationsmanagement für vernetztes und kollaboratives Arbeiten über verschiedene Standorte hinweg ein wesentlicher Bestandteil davon.



Zudem muss eine vertikale und horizontale Datenintegration für vernetztes und disziplinübergreifendes Arbeiten erreicht werden. Eine anzustrebende Zielvorstellung ist die Schaffung eines digitalen Zwillings, der den Lebenszyklus des Produkts beziehungsweise Anlage über die gesamte Nutzungs- bzw. Betriebsphase abbildet.

Der Änderungsprozess hin zu einem erfolgversprechenden nachhaltigen digitalen Engineering ist nur mit einem ganzheitlichen Ansatz zu leisten, der weit über die Einführung und Nutzung digitaler Werkzeuge und Infrastrukturen hinausgeht.

Zur Gestaltung des Änderungsprozesses sollte jede Organisation und jeder persönlich sich mit den folgenden Themen beschäftigen und Maßnahmen zur Verbesserung einleiten und umsetzen:

### **Strategie**

Gibt es eine Strategie, deren Umsetzung durch digitales Engineering beschleunigt oder vereinfacht werden könnte?

### **Organisation**

Ist die bestehende Organisation flexibel genug, die Herausforderungen gemeinsam anzugehen?

### **Unternehmenskultur/Führung**

Sind Änderungen gewollt? Stehen die Führungskräfte dahinter? Wird offen kommuniziert? Dürfen Fehler gemacht und zugegeben werden?

### **Mitarbeiter/Aus- und Weiterbildung/Mindset/Akzeptanz**

Sind die Mitarbeiter in Methodik und Umgang digitaler Werkzeuge genügend ausgebildet? Werden Sie rechtzeitig über die Maßnahmen und Folgen der Änderungen informiert? Kennt man ihre Einstellung gegenüber Neuerungen?

### **Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle**

für Operations/Prozesse; digitale Produktion; digitales Engineering; smarte Produkte.

Ist man also bereit, in die Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle zu investieren und die kompetenten Mitarbeiter, zumindest partiell, dafür freizustellen?

Dass dieser Veränderungsprozess der digitalen Transformation nicht über Nacht erfolgen kann und vor allem entsprechende personelle Ressourcen benötigt, liegt auf der Hand. Die Versuchung liegt deshalb nahe, auch unter dem Druck der Öffentlichkeit und der Mitbewerber, pragmatisch mit kleinen und im Aufwand überschaubaren Projekten anzufangen – in der Hoffnung, dass aus einem Funken ein Feuer entfacht werden kann. Dies ist möglich, aber je größer eine Organisation ist, desto unwahrscheinlicher, wie die Erfahrung lehrt. Leichter und schneller ist dann oft die Gründung eines Spin-off zur Umsetzung digitaler Geschäftsmodelle.

**Die Mitwirkenden an diesem Thesenpapier sind zusammenfassend der Ansicht, dass der notwendige Änderungsprozess, ausgelöst durch die digitale Transformation nur in einem ganzheitlichen Ansatz gelingen kann. Das Vertrauen in Technologien, zum Ausdruck kommend in Tools und Prozessen zur**

**Ausgestaltung des digitalen Zwillings, reicht bei weitem nicht aus. Betroffen vom Wandel sind in hohem Maße auch die Unternehmenskultur und eine anzupassende Organisationsform, ja die gesamte Geschäftstätigkeit an sich muss kritisch hinterfragt werden. Besonders gefordert wird das Management in seiner Umsetzungsverantwortung und seinem Anspruch an herausragendem Leadership. Diese Verantwortung erfordert die Berücksichtigung aller Bereiche von Technologien und der Wurzeln des Unternehmens mit seinen spezifischen Werten. Weil eben all diese Themenfelder eng miteinander verzahnt sind, haben wir zu leichten Orientierung versucht, die Kapitel entsprechend zu strukturieren.**

### *Literatur*

[1] CIO vom 29.11.2016, „Großes Desinteresse an Industrie 4.0“

# Management, Leadership und der Wille zum Wandel

Erfolg gelingt zukünftig nur durch holistische Betrachtungsweise der verwendeten Methoden und Prozesse im Produktentstehungsprozess.

**DR.-ING. ANORLD HERP, HEITEC AG;  
NELE OLDENBURG und MICHAEL RUSS, KRONES AG**

Um die Potenziale von Digitalisierung und Industrie 4.0 vollständig ausschöpfen zu können, ist eine ganzheitliche Herangehensweise unumgänglich. Dafür ist eine umfassende Betrachtung des Engineerings im Kontext sämtlicher Geschäftsprozesse einer Organisation notwendig. In der Vergangenheit wurden Prozesse in Unternehmen häufig nur beleuchtet und niedergeschrieben, um beispielsweise die Bedingungen für Qualitätszertifizierungen zu erfüllen. Jedoch verfolgt das Management von Unternehmensprozessen heute den Zweck einer „zielorientierte[n] Beeinflussung der Leistungsprozesse eines Unternehmens“ [1] und trägt somit dazu bei, dass die Organisation wettbewerbsfähig bleibt und die strategischen Unternehmensziele erreicht werden. „Unternehmensprozesse werden [dadurch] [...] zur dynamischen Kernkompetenz eines Unternehmens“ [2].

Die Notwendigkeit der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung von Prozessen ist somit nicht mehr zu leugnen. Doppler und Lauterburg erklären diese neu entstandene Unverzichtbarkeit einer Prozessausrichtung von Unternehmen durch veränderte Rahmenbedingungen, denen jede Organisation unterliegt. Sie sehen die Ursache in der Verknappung der Ressource Zeit, der Ressource Geld und der dramatischen Steigerung der Komplexität [3]. Hier spielen Faktoren wie globaler Wandel, demografische Entwicklung, Fachkräftemangel und diverse weitere Aspekte eine entscheidende Rolle [4].

Das Prozessmanagement als dynamische Kernkompetenz hilft dem Unternehmen, langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben und den Marktanforderungen dauerhaft gerecht werden zu können. Somit ist die Prozessorientierung Grundlage für die Nutzung der Potenziale von Industrie 4.0 und Digitalisierung. Beispielsweise ist es nur durch Kenntnis des Zusammenwirkens sämtlicher Geschäftsprozesse möglich, ein ganzheitliches digitales Engineering aufbauen zu können. Für Führungskräfte bedeutet dies die Notwendigkeit, gemeinsam mit ihren Mitarbeitern die Arbeitsabläufe zu prüfen und zu erkennen, wo Prozesse und Entscheidungen technologisch unterstützt werden

können [5]. Beispielsweise muss dabei im gesamten Unternehmen beziehungsweise unternehmens-übergreifend betrachtet werden, welche Engineering-Daten zu welchem Zeitpunkt wo und in welcher Form erzeugt werden und an welchen Stellen sie in nachfolgenden Prozessen wieder benötigt und sinnvoll eingebracht werden können. Nur so kann eine durchgängige vertikale sowie horizontale Datenintegration erreicht werden.

## Literatur

- [1] Posluschny, P., „Praxishandbuch Prozessmanagement“, UVK-Verlag, 2016, S.17
- [2] Osterloh, M., Frost, J., „Prozessmanagement als Kernkompetenz“, Gabler-Verlag, 2006, S.7
- [3] Doppler, K., Lauterburg, C., „Change Management“, 23. Auflage, 2014, S.24-36
- [4] Bartscher, T., Stöckl, J., „Veränderungen erfolgreich managen: Ein Handbuch für interne Prozessberater“, 1. Auflage, Haufe Fachpraxis, 2011, S.2
- [5] Creusen, U. et al., „Digital Leadership – Führung in Zeiten des digitalen Wandels“, Springer-Gabler Verlag, 2017, S.48 – 49

## Relevanz von Unternehmenskultur und Führung

Im Zuge der digitalen Transformation von Unternehmen, ist eine umfassende Digitalisierungsstrategie notwendig. Dafür muss nicht nur die technologische Komponente betrachtet werden, sondern vor allem auch die entsprechenden Rahmenbedingungen innerhalb der Organisation selbst geschaffen werden. Dabei spielt die Unternehmenskultur eine wichtige Rolle. Schönfelder beschreibt, dass für Unternehmenserfolg der Einbezug von Mitarbeitern und die kluge Vernetzung von Intelligenz notwendig sei [1]. Als wichtiger Erfolgsfaktor gilt beispielsweise die Förderung von konstantem Lernen und Experimentieren, um schnelle Lernzyklen innerhalb der Organisation zu erreichen. Außerdem wird empfohlen, offene Netzwerke von Mitarbeitern, Kunden und Partnern zu organisieren, um den Austausch bezüglich Weiterentwicklungen zu initiieren [2]. Neben unternehmensübergreifenden Innovationsnetzwerken werden inzwischen besonders in großen Unternehmen und Konzernen auch vermehrt intern Orte geschaffen, in denen gezielt Innovation angestoßen wird. Dies äußert sich beispielsweise in Form von „Labs, Hubs, Think Tanks oder Digital Units“ [3]. Herausfordernd ist allerdings der Übertrag von Kompetenz und Innovationskraft aus den losgelösten Einheiten in die eigene Organisation hinein. Es muss hierfür nicht nur der Prozess des Knowhow-Übergangs definiert werden, sondern auch die Skepsis von Mitarbeitern gegenüber der Arbeit von Innovation-Labs abgebaut werden. Mitarbeiter müssen in ihrem Denkmuster flexibler werden und sich eine offene Haltung bezüglich neuer Technologien und Lösungsansätze aneignen.

„Für die Führungskraft besteht hierbei die Aufgabe, im Ideenentwicklungsprozess einen unbeschränkten Lösungsraum zuzulassen und zu fördern“ [4]. Dabei soll im Sinne einer „Outcome Economy“ nicht das Produkt an sich, sondern die Lösung fokussiert werden. In diesem Zusammenhang wird in einschlägiger Literatur immer wieder das Beispiel der Bohrmaschine genannt: Kunden kaufen keine Bohrmaschine, um diese zu besitzen, sondern um Löcher zu bohren und anschließend Bilder aufhängen zu können. Klebestreifen oder Ähnliches können jedoch eine ebenso gute Lösung für das Problem sein, vollkommen unabhängig vom Produkt der Bohrmaschine. Für dieses rein mechanische Beispiel mag die Überlegung simpel sein. Mit Betrachtung des immensen Umfangs neuer Lösungsmöglichkeiten durch Digitalisierung und Technologien der Industrie 4.0 ist der Ansatz jedoch hochkomplex. Deshalb sind hier besonders Führungskräfte in der Pflicht, Mitarbeiter aktiv zu fördern und fordern, auch in unkonventionelle Richtungen zu denken und zu entwickeln.

### Literatur

[1] Schönfelder, C., „Muße – Garant für unternehmerischen Erfolg“, Springer Fachmedien Verlag, 2018, S.56

[2] Creusen, U. et al., „Digital Leadership – Führung in Zeiten des digitalen Wandels“, Springer-Gabler Verlag, 2017, S.3

[3] Keuper, F. et al., „Disruption and Transformation Management“, Springer Fachmedien Verlag, 2018, S.6

[4] Creusen, U. et al., „Digital Leadership – Führung in Zeiten des digitalen Wandels“, Springer-Gabler Verlag, 2017, S.40

## Leadership Alignment

Im vorhergehenden Abschnitt wurde betont, wie wichtig Unternehmenskultur und Führung der Mitarbeiter besonders bei der Umsetzung tiefgreifender Veränderungen sind. Als weiterer essentieller Baustein gilt das sogenannte Leadership Alignment. Ziel dabei ist es, den Wandel als integraler Bestandteil in der Organisation zu verankern und ein Commitment der oberen Führungskräfte zu erreichen. Hierbei sollen die Stakeholder in die Planung der Veränderung eingebunden und eine breite Führungscoalition [1] aufgebaut werden. Es ist wichtig, die richtigen Mitglieder mit entsprechender hierarchischer Kraft, breiter Expertise, hoher Glaubwürdigkeit sowie ausreichend Leadership- und Managementfähigkeiten zu finden.

Wichtig für den Erfolg der gesamten Transformation ist eine vertrauensvolle Zusammenarbeit, ein gemeinsames Ziel sowie eine verständliche „Vision“ (auch: Leitbild), die auch ins Unternehmen getragen wird [2]. Diese entwirft ein Bild von der Zukunft und vermittelt auf implizite oder explizite Art, warum es für die Menschen erstrebenswert ist, diese Zukunft zu erschaffen.

Es ist wichtig, die Richtung des Wandels klar zu definieren, weil Mitarbeiter sich über die Richtung erstaunlich oft uneinig sind, verwirrt sind oder sich fragen, ob tiefgreifender Wandel überhaupt notwendig ist. Gerade mit den immensen Möglichkeiten von Industrie 4.0 muss hier ein klares Leitbild entwickelt und kommuniziert werden.

### Literatur

[1] Kotter, J., „Leading Change“, Vahlen-Verlag, 2011, S.46 – 58

[2] Ebenda, S.59 – 72



# Digitale Transformation und seine Auswirkungen auf Organisation und Unternehmenskultur

NELE OLDENBURG und MICHAEL RUSS, KRONES AG

Neben den geeigneten Rahmenbedingungen innerhalb der Organisation und dem Leadership Alignment ist auch die Auswahl des richtigen Teams für die Veränderungen in Richtung Industrie 4.0 entscheidend. Die Teammitglieder müssen mit ausreichender Motivation den digitalen Wandel vorantreiben und haben die Möglichkeit, somit die zukünftigen neuen Arbeitsweisen mitzugestalten [1].

Bei der Zusammenstellung des Projektteams ist darauf zu achten, dass alle relevanten und direkt vom Wandel betroffenen Fachdisziplinen mit entsprechendem Sachverstand vertreten sind. Aufgrund des breiten Aufgabenspektrums bei ganzheitlicher Betrachtung besteht hierbei die besondere Herausforderung, die richtige Gruppengröße zu finden und zusätzlich benötigtes Fach-Knowhow fallweise einzubinden. Auch sollten die Teammitglieder als „Change-Agents“ fungieren und die bevorstehenden Änderungen in die jeweiligen operativen Einheiten tragen. Dies hat zum Ziel, dass hinreichend Feedback aus dem Tagesgeschäft zurück in die Projektarbeit fließt und die gesamte Gestaltung der Arbeitsweisen 4.0 tatsächlich den Anforderungen des Unternehmens entspricht.

Elementar ist es außerdem, die Aufgabe der Systemarchitektur hinreichend zu besetzen. Viele Aufgabenstellungen erfordern spezielles daten- und informationstechnisches Wissen, welches mit den fachlichen Anforderungen aus den operativen Bereichen abgeglichen werden muss. Um die Mitarbeiterakzeptanz und den Projekterfolg zu erreichen, ist auf die Gestaltung eines effizienten und anwenderfreundlichen Systems zu achten. Bei der Teamzusammenstellung für die angestrebte digitale Transformation ist neben den fachlichen Fähigkeiten auf folgende Eigenschaften der Personen zu achten:

- Neugier
- Kommunikationsfreudigkeit
- Offenheit für Neues
- Standhaftigkeit gegenüber Skepsis, Ablehnung und Druck aus der Belegschaft
- Besitz von Vertrauen und Akzeptanz seitens der Belegschaft
- analytisches Denkvermögen
- Methodenkenntnisse
- ausreichende Kenntnisse über die eigenen Geschäftsprozesse
- Selbstverständnis und Verhalten als Change-Agent.

Durch gezielte Change-Veranstaltungen wie Change- und Kommunikationstrainings, Team Coachings etc. sollen die Change-Agents bezüglich Haltung, Tools und Methoden fit gemacht und gefördert werden. Neben fachlicher Expertise sind diese Softskills essentiell, um digitales Engineering innerhalb der Organisation einführen und langfristig erfolgreich etablieren zu können.

## Literatur

[1] Doppler, K., Lauterburg, C., „Change Management: Den Unternehmenswandel gestalten“, 11., aktualisierte und erw. Aufl. (Frankfurt am Main [u.a.]: Campus-Verl., 2005), S.439

## Erfolgsfaktor Mitarbeiter-Orientierung

Die digitale Transformation bedeutet einen umfassenden Wandel der Unternehmens- und Arbeitswelt. Essentiell bei der Nutzung neuer Technologien und der Entwicklung hin zu einer durchgängig digitalisierten Arbeitsweise ist der Fokus auf die Mitarbeiter. Denn der Faktor „Mensch“ ist häufig der Grund für das Scheitern von Veränderungsprozessen. Das liegt daran, dass individuelle Sichtweisen, Ängste und Instinkte von Mitarbeitern oft im unternehmerischen Umfeld nicht ausreichend berücksichtigt werden.

„Eine der häufigsten Ursachen für Fehlschläge bei Veränderungsprojekten liegt darin, dass Technokraten am Werk sind, die bei ihrer Planung alle technischen, strukturellen und ökonomischen Aspekte berücksichtigen – und alle menschlichen und zwischenmenschlichen Aspekte ebenso konsequent missachten“ [1] bemerken Doppler und Lauterberg. Der Fokus von Transformationen liegt demnach meist auf der fachlichen Umsetzung und der Erreichung der vorgegebenen Ziele wie Kosteneinsparungen oder Durchlaufzeitverkürzung. Doppler schreibt außerdem: „So wird beispielsweise über Humankapital und Leistungsträger gesprochen [...], wenn es eigentlich darum geht, wie man mit oder durch Mitarbeiter etwas bewegen und verändern möchte, um (wieder) erfolgreich zu werden“ [2]. Doppler betont ebenfalls, dass es ohne die Einbeziehung

der menschlichen Komponente keine erfolgreiche und nachhaltige Unternehmenstransformation geben kann.

Mertens et. al. verstehen unter Mitarbeiterakzeptanz vor allem die „Bereitschaft und Absicht von Nutzern, ein Anwendungssystem zur Bearbeitung von Aufgaben regelmäßig einzusetzen“ [3]. Dies ist gerade für die Einführung neuer Software-Systeme zur Digitalisierung von unternehmensinternen Arbeitsprozessen höchst relevant. Innovative und technologisch fortschrittliche Lösungen zur Nutzung von Digitalisierungspotenzialen im Unternehmen können nur dann Vorteile bringen, wenn sie auch konsequent von Mitarbeitern genutzt werden. Für eine erfolgreiche digitale Transformation ist es somit dringend erforderlich, ausreichende Mitarbeiter-Akzeptanz zu schaffen.

Neben der Akzeptanz ist auch die Kompetenz der Bedienung des neuen Systems ein wichtiger Aspekt. Mitarbeiter müssen deshalb neue Fertigkeiten und den Umgang mit dem neuen System erlernen [4]. Hier sollten bei Transformationsprojekten ausreichend Zeit und Ressourcen für die Schulung und Weiterbildung von Mitarbeitern eingeplant werden. Dies ist ein wichtiger Aspekt, der neben technologischen Faktoren der Industrie 4.0 häufig übersehen wird, der jedoch häufig über Erfolg oder Misserfolg digitaler Neuerungen entscheidet.

#### Literatur

[1] Doppler, K., Lauterburg, C., „Change Management: Den Unternehmenswandel gestalten“, 11., aktualisierte und erw. Aufl. (Frankfurt am Main [u.a.]: Campus-Verl., 2005), S.154

[2] Doppler, K., „Unternehmenswandel gegen Widerstände: Change-Management mit den Menschen“, 3., aktualisierte und erw. Aufl. (Frankfurt M. u.a.: Campus-Verl., 2014), S.111

[3] Mertens P. et al., „Grundzüge der Wirtschaftsinformatik“, 12. grundlegend überarbeitete Aufl. (Springer-Gabler Verlag, 2017), S.145

[4] Ebenda, S. 146

# Werte und das Unternehmen im Holozän von IoT, Industrie 4.0 & Co.

Der sich zunehmend vergrößernde digitale Raum erfordert eine Repositionierung des Unternehmens und wirft Erklärungsbedarf auf gegenüber den Werten, für die es steht.

**DR. BERNHARD VALNION, DIGITAL AGENDA UG**

Das Unternehmen Lamborghini Trattori wurde 1948 in Cento, Ferrara in Italien, von Ferruccio Lamborghini zur Herstellung von damals dringend benötigten Traktoren gegründet. 1959 wurde die Produktion dann um Brenner und Klimaanlage erweitert und vier Jahre später gründete Lamborghini die Firma Automobili Lamborghini [1]. Der Grund für die Entscheidung, superschnelle Sportwagen zu bauen, ist der Legende nach das Ergebnis einer Auseinandersetzung mit Enzo Ferrari: Lamborghini hatte häufig Probleme mit seinem Ferrari und beschwerte sich bei Firmenchef Enzo Ferrari. Dieser wies ihn mit dem Hinweis zurück, Lamborghini könne zwar Traktoren bauen, habe aber vom Sportwagenbau keine Ahnung. Deshalb beschloss Lamborghini, seinem Widersacher das Gegenteil zu beweisen, indem er einen schnelleren Sportwagen baute [2]. Wer in den Annalen von Vorwerk blättert, das eigentlich für seine Handstaubsauger der Marke Kobold und das Klingeln an der Haustür bekannt ist, findet eine ebenso spannende Geschichte: Es begann 1961, als Vorwerk zunächst eine Universalküchenmaschine auf den Markt brachte. Sie vereinte sieben mechanische Funktionen, unter anderem Rühren, Kneten und Schneiden [3]. Weil in Frankreich „Potages“, also gebundene Suppen, äußerst beliebt waren, hatte ein dort lebender Schweizer Anfang der 1970er Jahre die Idee, Koch- und Mixerfunktion in einem Gerät zu fusionieren, weil sich so das Kreieren von Suppen enorm vereinfachen lässt. Vorwerk ließ sich von diesem innovativen Ansatz inspirieren und so entstand aus einem Kaltmixer ein Heizmixer, der Urvater des heute so erfolgreichen Thermomix. Auch im Sinne von Online-Community und begleitender Print-Literatur wurden einige Register gezogen, doch ein echter Smart Mixer ist es bis heute dennoch nicht geworden, denn in Sachen Usability, Customer Experience und Connectivity hat Silicon Valley die Messlatte für einen Maschinenbauer mit deutschen Wurzeln dann doch etwas zu hoch gehängt.

## Die Zeit drängt

Was lässt sich aus diesen zwei Beispielen lernen? Viele deutsche Fertigungsbetriebe haben ähnlich wie Lamborghini klein angefangen und sind dann groß herausgekommen – und dabei eine durchaus bemerkenswerte Metamorphose durchlebt. Und auch Vorwerk ist nur eines von vielen Zitatens des unablässigen Strebens nach Produktoptimierung. Wer mit Mitarbeitern auf dem Unternehmensgelände eines Maschinenbauers spricht, spürt förmlich den Stolz, einen Beitrag zu erfolgreichen Produkten leisten zu dürfen.

Beide Firmen haben den (erfolgreichen) Wandel vollzogen, doch haben beide dafür Jahrzehnte benötigt – ein Zeitraum, der heute keinem Management mehr zugebilligt wird – siehe Agfa, siehe Grundig, siehe Nokia, siehe Mannesmann.

Keine Frage, es steht ein umfassender Wandel infolge der weiter voranschreitenden Digitalisierung an, der mit Agilität und Entschlossenheit angegangen werden muss. Doch, gibt es da nicht eine Konstante der Bewegung, wie in der Physik, die den Planeten elliptische Bahnen um die Sonne aufzwingt und damit Ordnung ins Chaos bringt? Die Antwort ist einfach: Ja, es sind die Werte, für die ein Unternehmen steht, und die Marke, die es dem Kunden leicht macht, beim Hersteller seiner Wahl einzukaufen. Eine Marke hilft, herauszukommen aus der Falle, reine Leistungen anzubieten, weil damit eine Maschine 1:1 mit einem Wettbewerbsprodukt vergleichbar wird. Das weite Feld von Predictive Maintenance zum Beispiel, als Kundenbindungsinstrument verstanden, bietet hier beachtliches Potenzial [4]. Eine starke Marke

- wirkt nach innen und außen
- ist die Basis für die Identifikation der Mitarbeiter
- macht potenzielle Stellenbewerber neugierig
- schafft Vertrauen bei Kunden und Lieferanten.

Unternehmenswerte bilden den genetischen Code einer jeden Marke ab. Erst sie ermöglichen es dem Unternehmen, eine gewisse Haltung dem anstehenden Wandel gegenüber einzu-

nehmen und sind somit das größte Differenzierungsmerkmal. Unternehmenswerte prägen die

- Unternehmensführung
- Mitarbeiterführung
- Auswahl geeigneter Mitarbeiter
- Auswahl von Geschäftspartnern und Lieferanten
- internen Prozesse
- Vermarktung
- Produktentwicklung

Wer diese Aspekte mit den Möglichkeiten der Digitalisierung kritisch in Beziehung setzt, dem wird schnell klar, welches Gestaltungspotenzial sich auftut. Warum also soll der digitale Zwilling einer Werkzeugmaschine nicht auch die Gene und Werte eines gestandenen Maschinenbauers widerspiegeln?

#### *Literatur*

[1] [www.lamborghini.com/de-en/das-unternehmen/personen/ferruccio-lamborghini](http://www.lamborghini.com/de-en/das-unternehmen/personen/ferruccio-lamborghini)

[2] *Thoroughbred & Classic Cars*, Jan. 1991.,  
[www.400gt.com/articles/compare/interview.htm](http://www.400gt.com/articles/compare/interview.htm)

[3] [thermomix.vorwerk.de/ueber-uns/die-geschichte-des-thermomix/](http://thermomix.vorwerk.de/ueber-uns/die-geschichte-des-thermomix/)

[4] [www.maschinenbau-institut.de/after-sales-service/vdma-kongress-predictive-maintenance](http://www.maschinenbau-institut.de/after-sales-service/vdma-kongress-predictive-maintenance)

# Veränderungsdruck als Folge von Globalisierung und vermehrter Komplexität

Steigende Komplexität in den Produkten und den Märkten verlangt nach einer neuen Qualität der Zusammenarbeit – intern und extern.

**DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH;  
DR.-ING. KLAUS FUNK, ZENTRUM DIGITALISIERUNG.BAYERN**

Wir stehen steigenden Anforderungen seitens der Kunden bei gleichzeitig vermehrten regulatorischer Vorgaben in Bezug auf Multifunktionalität (siehe etwa Mobilfunkgeräte), Produktperformance und Lebensdauer, Energieeffizienz und Öko-design-Richtlinien gegenüber. All das begründet eine wachsende Varianz von komplexer werdenden Produkten.

Eng verbunden mit der steigenden Komplexität nehmen auch die Unsicherheitsfaktoren im Produkt- und Service-Design zu. Dies gilt insbesondere für die Vorhersehbarkeit des Markts, des Projekt-umfelds sowie für Anforderungen und Machbarkeit in Bezug auf das angestrebte technische System. Die Unsicherheit bezieht sich direkt auf die Produktarchitektur, wenn technologisches Neuland betreten wird oder Komponenten in neuer Art und Weise miteinander verbunden werden. Neue Varianten in Hinsicht auf cyberphysische Systeme oder Anwendungen etwa im Bereich „Additive Manufacturing“, mit deren Umgang in den Unternehmen nur wenig oder keine Erfahrung besteht, sind prominente Beispiele dafür. Die Unsicherheitsfaktoren können aber auch das Entwicklungsprojekt und sein Umfeld betreffen, z. B. instabile Anforderungen, fehlende Machbarkeitsstudien oder das Fehlen von bewährten Verfahren (sog. „Best Practices“).

## Globalisierung

Viele Fertigungsbetriebe sind heute weltweit tätig. Unternehmensstrukturen und damit auch Entwicklungs- und Engineering-Prozesse werden daher zunehmend global organisiert, um beispielsweise regionale Marktanforderungen besser berücksichtigen zu können oder die Kosten zu reduzieren. Letztere spielen bei der Globalisierung von Engineering-Aktivitäten eine große Rolle, da Unternehmen von Kostenvorteilen in Niedriglohnländern profitieren wollen.

Um Kostenvorteile im Engineering nachhaltig zu heben, sind eine permanente Begleitung der zugrundeliegenden Prozesse und möglicherweise die eine oder andere Investition erforderlich. Viele Unternehmen haben in der Produktentwicklung den Schritt zurück nach Deutschland oder zumindest „near shore“ gemacht, da Qualitätsprobleme und Aufwand für die

Steuerung oder Nachbearbeitung den erhofften Kostenvorteil wieder zunichtegemacht hatten. Die Gründe für ein mögliches Scheitern sind ebenso vielschichtig wie vielfältig. Regionale Kultur, Ausbildungsstand, Loyalität, Sprache und vieles mehr machen derartige Engagements zum Abenteuer. Ebenso viele Beispiele zeigen, dass es auch gut funktionieren kann.

Um den Schritt in Niedriglohnländer erfolgreich zu gehen, sind intensive Prozessanalysen und -optimierungen notwendig. Erst wenn die zu verlagernden Arbeitsschritte exakt definiert und standardisiert sind, kann Qualität und Wirtschaftlichkeit sichergestellt werden. Eine mögliche Vorgehensweise besteht darin, mit entsprechender Unterstützung von Softwarewerkzeugen den Prozess zentral zu definieren, zu verwalten und freizugeben. Offshore werden dann diese Prozesse angewendet, um die einzelnen Entwicklungsschritte genau nach Vorgabe („copy exact“; siehe Intel, das mit diesem Ansatz ganze Fabriken exakt kopiert, bis hin zum Firmenschild) abzuarbeiten. Mit wachsender Erfahrung, dem Vorhandensein von möglichst vollständigen digitalen Zwillingen und größerer Eigenständigkeit kann dieses Korsett mehr und mehr gelockert werden („copy smart“). Heutige Werkzeuge bieten hierfür geeignete rollen- und rechteabhängige Zugriffe mit entsprechender Nachvollziehbarkeit und Dokumentation. Damit lassen sich sukzessive auch komplexere Tätigkeiten auslagern. Durch die zentrale Verwaltung der Prozessschritte und die Einführung von Automatismen wird in diesem Zuge auch das Knowhow des Unternehmens im Sinne von Vorgehensweisen, Skripten oder Tools dem direkten Zugriff eines Nutzers entzogen. Im Sinne des IP-Schutzes hinsichtlich Fluktuation und Auslagerung von Leistungen kann dies zu einem Schlüsselfaktor für einen technologischen Vorsprung werden.

## Veränderungsdruck

Die Produktentwicklung muss alle Möglichkeiten ausschöpfen, effizienter und somit schneller zu werden: Nach den Erfolgen bei der Effizienzsteigerung in der Produktion („Shopfloor“) ist es nun an der Zeit, die Chancen digitaler Methoden zu nutzen, um den Herausforderungen der Digitalisierung auch auf dem



Officefloor Herr zu werden. Dabei geht es um Schnelligkeit, Flexibilität und Integration der bestehenden Infrastruktur.

Schnelligkeit lässt sich durch simultanem statt sequentiellen Arbeiten erreichen. Dabei ist eine enge Abstimmung von Teilaufgaben und Disziplinen (Mechanik, E/E, SW) notwendig. Die Wiederverwendung von bestehenden Daten und Wissen sowie die extensive Nutzung von Virtual Prototyping helfen dabei.

Eine modular aufgebaute Produktstruktur schafft enorme Flexibilität. Die Wiederverwendung standardisierter (oder vorhandener) Komponenten/Subsysteme ermöglicht die schnelle Umsetzung von technologischen Änderungen. Allerdings darf der Aufwand für die Erstellung der zugrundeliegenden Regelwerke und die Definition der Schnittstellen nicht unterschätzt werden.

Integration: Elektronik und Software tragen fundamental zur Wert-schöpfung bei. Daher ist die frühe Abstimmung beziehungsweise der frühe Austausch von Daten und Informationen dringend zu empfehlen. Noch wichtiger ist der Mehrwert von Informations- und Wissenstransfer entlang des Wertestroms.

In der Summe ist der Trend hin zu mehr Komplexität und kürzeren Produktlebenszyklen nur durch flexibel zusammengesetzte Teams auch über die Unternehmensgrenzen hinweg möglich. Niemand hält alle morgen benötigten Kompetenzen mehr vor. Wir kommen um ein kooperatives und kollaboratives Engineering, mit anderen Worten um ein hochgradig vernetztes Vorgehen nicht mehr herum.

Zusätzlich zum kooperativen Engineering ist in interdisziplinären Entwicklungsgruppen die Zusammenarbeit in Echtzeit an einem „Master“, an einem virtuellen Prototyp oder digitalen Zwilling also, vonnöten. Dieses kollaborative Engineering ersetzt den Austausch von Daten in mannigfachen Versionsnummern und den dazugehörigen Totzeiten bis zur nächsten Synchronisation. Verbunden mit dieser nahtlosen Verflechtung des Datenaustauschs steigt der Anspruch an einem dezidierten Rechtemanagement sowie den Sicherungsmaßnahmen erheblich. Damit hier Dinge koordiniert ablaufen und nicht auseinanderdriften, ist die Anwendung der Prinzipien der „Single Source of Truth“ [1] bei der Anwendung des digitalen Zwillings von entscheidender Bedeutung. Entgegen der intuitiven Interpretation des Begriffs als Integration aller Daten in einem einzigen System, ist es aber heute der aktuelle Stand der Technik, die Integration unterschiedlicher Datenbanken durch die logische Verlinkung zu realisieren.

#### Literatur

[1] Stimmel, C., 2015, „Big Data analytics strategies for the Smart Grid“

# Methoden, Prozesse, Tools

Die Werkzeuge, deren Bedienung und die domänenspezifischen Informationsflüsse sind einem großen Wandel unterworfen.

**CHRISTOF GEBHARDT, CADFEM GMBH;**  
**DR.-ING. ARNOLD HERP, HEITEC AG;**  
**DR.-ING. HELMUT MEITNER, DRÄXLMAIER GROUP;**  
**NORBERT FINKEL, COSCOM COMPUTER GMBH;**  
**MICHELE DEL MONDO, PTC GMBH;**  
**DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH;**  
**MICHAEL PROBST, ISKO ENGINEERS AG;**  
**DR. MARKUS RICKERT, FORTISS;**  
**CLEMENS SCHLEGEL; SCHLEGEL SIMULATION GMBH;**  
**DR. BERNHARD VALNION, DIGITAL AGENDA UG;**  
**JAN VOLLMAR, SIEMENS AG;**  
**DR.-ING. KLAUS FUNK, ZENTRUM DIGITALISIERUNG.BAYERN**

„Geschätzte 80% der Versuche in den F&E-Abteilungen wurden so oder ganz ähnlich schon einmal gemacht. Davon die Hälfte in der eigenen Organisation!“ So ungefähr ist von erfahrene Entwicklungsleitern in informellen Gesprächen immer wieder zu hören.

Wenn man ehrlich ist, wird die Dokumentation der Arbeiten und Ergebnisse in F&E, die beispielsweise nicht von Compliance-Anforderungen für die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften, der Gewissenhaftigkeit des Managements oder der Qualitätssicherung geleitet wird, meist als notwendiges Übel angesehen. Dokumentieren wird nicht gemocht, weil es gefühlt die Freiheit zu beschränken scheint, die Kreativität behindert und (zumindest zuerst) als Overhead mit begrenztem Wert wahrgenommen wird.

## Wissensmanagement, Innovationsmanagement und Transdisziplinarität

**DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH**

Was sollten denn die Ergebnisse sein, wenn auch in F&E sauber dokumentiert wird? Hier ein paar überraschend überzeugende Antworten:

- Kollaboratives Wissensmanagement und einfacher, multiperspektivischer Zugriff auf Informationen und Wissen in der Organisation: Das Hauptproblem bei vielen Wissensmanagement-Initiativen besteht darin, dass die archivier-

ten Informationen nicht so strukturiert sind, dass sie aus verschiedenen Perspektiven leicht abrufbar sind

- Verbesserung der Lernfähigkeit der Organisation und des assoziierten Ökosystems
- Speicherung sämtlicher Forschungsdaten für den Zugriff durch autorisierte Nutzer. Zum Beispiel die Speicherung von experimentellen Daten, die eigentlich nicht den erhofften Ergebnissen entsprechen (nur aus Fehlern lernt man Neues!)
- Zugriff von jedem Standort aus
- Ermöglichung der Suche nach Forschungsdaten mit mehreren Perspektiven und verschiedenen Kriterien.

In der F&E-Praxis gibt es jedoch nach wie vor diverse Probleme:

- Daten liegen in semi-strukturierter (Tabellen mit Zahlen und Einheiten) und unstrukturierter (Bildern, E-Mails, Dokumenten) Form vor. Tatsächlich liegen etwa 80% der digitalisierten Daten in einem typischen Unternehmen in Form von unstrukturierten Daten vor.
- Die strukturierten Daten können sich täglich oder sogar stündlich ändern. Neue Parameter zur Sammlung und Überwachung werden gefunden und alte werden nicht weiter unterstützt.
- Suchkriterien und Berichte ändern sich mit jedem Projekt und sogar innerhalb eines Projekts.
- Die Volltextsuche reicht nicht aus und liefert nicht den Kontext (In welchem Projekt wurde dieses Ergebnis erreicht? Wie wurde die Komponente hergestellt? Wo sonst verwendeten wir das gleiche Material? Zeigen Sie mir alle Komponenten, die in einem Bereich von -50°C bis 120°C funktionieren).
- Der Kontext von Daten im Allgemeinen wird aufgrund von

Einschränkungen in der Kategorisierung meistens nicht beibehalten oder geht teilweise verloren.

Darüber hinaus kann die Zusammenstellung der gesammelten Ergebnisdaten in Berichten und die Auswertung einen großen Teil der Entwicklungszeit beanspruchen. Die Statusfeststellung der Entwicklung ist oft eher eine manuelle Zusammenstellung der Berichte als ein automatisierter Prozess. Die Eingabedaten sind oft nicht auf dem neuesten Stand, sodass der Work-in-Progress-(WIP-)Status nicht unbedingt präzise ist. Die Auswirkungen dieser Effekte werden durch Qualitätssicherungs- und Compliance-Anforderungen wie ISO 900X, CMMI, SOX oder FDA 21 CFR Part 11 noch verstärkt. Da diese immer mehr in der Entwicklung und auch in der Produktion Anwendung finden, besteht eine starke Nachfrage, um die auferlegten Dokumentationsanforderungen zu erfüllen.

Doch gerade die Datenqualität ist essenziell, wenn diese Daten in Algorithmen des Machine Learnings weiterverarbeitet werden sollen. Zusätzlich setzt sich immer mehr der Wunsch nach semantischen Zusatzinformationen durch.

## Systemwissen als Grundlage für den Digital Twin

**DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH;  
DR.-ING. KLAUS FUNK, ZENTRUM DIGITALISIERUNG.  
BAYERN**

Eine andere Dimension des Wissensmanagements ist nötig, um ein funktionales System aus Teilwissen der Partner und Zulieferer zusammenzusetzen. So lassen sich Materialeigenschaften mit Verarbeitungsprozessen in Verbindung bringen und das Engineeringwissen aller Partner – ein geeignetes Geschäftsmodell einschließlich IP-Sharings als Grundlage vorausgesetzt – zu einem Digital Twin fusionieren. Dieser beschreibt nicht nur die sogenannten as-is-Daten eines spezifischen Assets (digitaler Schatten), sondern auch aktuelle Abweichungen bei Material, verschlissenen Equipment oder bei den geänderten Prozessen, seine Systemeigenschaften und kann so Vorhersagen und/oder Entscheidungen nachhaltig unterstützen. Dabei ergeben sich durch die Fusion von Teilwissen und der Einbeziehung des Echtzeit-Istzustandes echte Mehrwerte.

Ebenfalls zum Outside-in-Prozess gehört der Aufbau des Wissens durch die Integration von Nutzerdaten (Daten aus dem Feld) bzw. Erweiterungen und Nachrüstungen beim Kunden. In der Automobilindustrie ist dies unter dem Begriff „Software Flashing over the Air“ bekannt.

## Simulation und modellbasierte Systementwicklung: technischer Imperativ des Erhalts der Wettbewerbsfähigkeit

**CLEMENS SCHLEGEL, SCHLEGEL SIMULATION GMBH;  
MICHAEL PROBST, ISKO ENGINEERS AG;  
DR. BERNHARD VALNION, DIGITAL AGENDA UG**

In der heutigen Entwicklung von Produkten und Systemen ist die Technik der Simulation nicht mehr wegzudenken. Vieles, ja nahezu alles wird inzwischen simuliert, dabei nahe an der Realität abgebildet und realitätsnahen Prüfscenarien unterworfen. Dieses Vorgehen hat sich in vielen Bereichen etabliert und Simulation – oder besser deren Ergebnisse – begegnen uns täglich, ob in den Wetterprognosen oder in hochkomfortablen Fahrzeugen.

Mit Abstand betrachtet kann man sagen, dass jedes Training und jeder Test ursprünglich bereits eine Art der Simulation ist. Ein Training ist z. B. eine Vorbereitung auf einen Wettkampf. Verhaltensweisen und Situationen werden nachgestellt, eingeübt und perfektioniert. Dieses Prinzip gilt eins zu eins bei Testverfahren. Auch diese bilden den reduzierten Teil der Realität ab, der für eine bestimmte Eigenschaft oder Funktion relevant ist. So gesehen ist Simulation so alt wie das Probieren an sich. Der Effekt ist, dass in einer Phase der Vorbereitung auf den Realfall mit reduziertem Aufwand Erkenntnisse gewonnen und Verbesserung eingebracht werden.

In der heutigen Dynamik der Entwicklung wachsen die Ansprüche an das „Training“ ebenso deutlich wie die Komplexität der Systeme. Dies hat zur Folge, dass auch die Trainings- und Testscenarien immer mehr Aspekte der Realität einbeziehen müssen, um belastbare Verhaltensvorhersagen zu gewinnen. Simulation ist mit all seinen Ausprägungen aus heutiger Sicht der einzige geeignete Weg, um dies effizient darstellen zu können. Hierbei umfasst der Begriff „Simulation“ ein sehr breites Spektrum an Technologien, Vorgehensweisen und Methoden. Einige Beispiele sind 1D-System-simulation, 3D-Geometriesimulation (Mechanik, Elektronik, Wärme, Strömung), Produktionssimulation z. B. bei der Halbleiterfertigung (Simulation der Bewegungen und Reaktionen von Molekülen an Grenzschichten) oder Multidisziplin-Simulation für komplexe Produkte und Systeme.

Die Vorteile liegen bei näherer Betrachtung auf der Hand: Das System (z. B. eine Maschine) kann, ohne sie in Hardware herzustellen, in Modellen beschrieben und hinsichtlich der Anforderungen getestet und damit optimiert werden. Je früher dieser virtuelle Prozess greift, desto weniger Fehler müssen später mit teils enormem Aufwand korrigiert werden. Änderungen in einem digitalen Modell zu berücksichtigen, ist um ein Vielfaches schneller und günstiger. Daraus ergeben sich bei richtigem Einsatz enorme Zeit- und Kostenvorteile gegenüber Realtests. Zudem werden durch Simulation Systemoptimierungen möglich, was zu einer enormen Verbesserung von Materialeinsatz, Energieverbrauch, System- oder Herstellparametern führen kann. Schließlich kann mit Hilfe von Simulationsmodellen

eine Bedienschulung z. B. von Fahrzeugen und Anlagen aufgebaut werden.

Der weitere Vorteil der Simulation liegt in der Möglichkeit, die Ergebnisse zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort des Systems auslesen und interpretieren zu können. Bei einem realen Versuch ist es meist unmöglich, das Innenleben in seinem Verhalten zu beobachten. Die Simulation bietet hier beste Optionen, um das Verständnis des Systemverhaltens schnell und umfänglich zu generieren. Zudem lassen sich mittels virtueller (Prüf-)Methoden viele Qualitätsfragen wie Herstellbarkeit, Prozessparameter, Sicherstellung der Funktion und Eigenschaft sehr frühzeitig und mit hoher Prognosegüte beantworten.

Die klare Stärke der Simulation liegt in der vergleichenden Betrachtung, also einer „Was-wäre-wenn-Analyse“. Die Abbildung der vollständigen Realität ist nach wie vor der Wirklichkeit selbst vorbehalten, da wir in vielen Bereichen noch keine effizienten Methoden haben, um alle Aspekte der Umwelt zu modellieren. Übrigens ist dies meist auch gar nicht erforderlich. Man kann sich auf die wesentlichen Elemente, Parameter und Eigenschaften beschränken und trotzdem eine akzeptable Prognosegüte erreichen.

Große Systemhersteller in der Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt setzen bereits viele Jahrzehnte auf Simulation. Der hohe Aufwand für Software, Rechenleistung und die erforderliche Anwendungsexpertise hat sich bei der hohen Wertschöpfung stets schnell gerechnet. Mittlerweile sind Rechenleistung und Softwarekosten in einem Bereich, dass diese Technologien prinzipiell zumindest ökonomisch jedem offenstehen. Gleichwohl treffen wir regelmäßig auf Bereiche und Unternehmen, in denen Simulation als Bestandteil der Entwicklung kaum eine Rolle spielt. Die Verfügbarkeit von Experten (Ingenieurmangel und hoher Sog der großen OEMs) einerseits und die aufwändige Ausbildung andererseits begrenzt den schnellen und breiten Einsatz von Simulation. Zudem gibt es sicherlich technologische Berührungspunkte.

Die Entwicklung von CPS (Cyber Physical Systems), also von Systemen, die sowohl Hardware, Elektronik- als auch Softwarekomponenten eng verzahnt beinhalten, erfordert die Integration von realen und virtuellen Testkomponenten in einer Testumgebung. Hierin liegt eine Erweiterung des Begriffs „Simulation“ begründet. Die Trennung von bestehenden (realen) Komponenten (z.B. Software) und virtuellen Komponenten (z. B. Aktuatormodell) lässt sich nicht mehr aufrechterhalten. Die vielen Ansätze von XiL-Verfahren (X steht für Hardware, Model, Software; iL: in the Loop) verschmelzen zu einem System-in-the-Loop. Hochintegrierte Systeme wie autonome Minifahrzeuge, Land- oder Luftfahrzeuge lassen sich anders nicht mehr entwickeln, weder technisch noch wirtschaftlich.

Die mittlerweile allgegenwärtige digitale Transformation gepaart mit Globalisierung und wachsender Komplexität stellt somit eine Art technischen Imperativ für den Einsatz virtueller (Test-)Verfahren dar, um weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben. Je früher, intensiver und geschickter (smarter) diese Technologien eingesetzt werden, desto besser wird ein Unternehmen für die An- und Herausforderungen der technologischen Zukunft gerüstet sein.

## Ergebnisse der Simulation

Der Zweck von Simulation ist technisch betrachtet, das Systemverhalten zu verstehen, zu quantifizieren (z. B. Kräfte/Momente, Geschwindigkeiten, Strömungswiderstände, Wärme-flüsse, Temperaturen, elektrische Ströme, magnetische Flüsse, Induktivitäten, Impedanzen, etc. in Abhängigkeit vom Betriebsfall) und Betriebsstrategien zu untersuchen.

Ein gut handhabbares Simulationsmodell unterliegt vielen vereinfachenden Annahmen und kann immer nur einen bestimmten, meist eng umrissenen Aspekt des Systemverhaltens approximieren. Sehr oft begrenzt die Verfügbarkeit von Modelldaten die Möglichkeit, ein bestimmtes Simulationsmodell einzusetzen. Daraus resultiert die Notwendigkeit, ein Modell zu vereinfachen oder verschiedene Eigenschaften zu aggregieren.

Ein Simulationsmodell besteht aus mathematischen Beziehungen, numerischen Algorithmen und systemspezifischen Daten. Die durchgehende Nutzung von erarbeiteten und validierten Teilmodellen (mechanisches Subsystem, Elektronik, Embedded Software) ist die Voraussetzung für ein gutes Systemdesign. In vielen Anwendungen zeigt sich, dass erst in der Interaktion von verschiedenen Teilsystemen das Systemverhalten geeignet erfasst und optimal gestaltet werden kann. So können Software-Entwickler Verhaltensmodelle der mechanischen Komponenten für ein gutes Reglerdesign nutzen oder umgekehrt die Konstrukteure der mechanischen Komponenten ein Verhaltensmodell der Software.

Die durchgehende Verwendung solcher Modelle – vom Requirements Engineering über den System- und den Komponentenentwurf bis hin zur Verifikation und Validierung – über alle Entwicklungsbereiche (mechanische Konstruktion, Elektronik, embedded Software) hat den Begriff der modellbasierten Entwicklung (MBE) geprägt, wobei der Ursprung in der modellbasierten Software- oder Systementwicklung (MBSE) lag. Die Nutzung von Simulation in einer solchen modellbasierten Entwicklung beschränkt sich also nicht auf einzelne Teilsysteme, sondern erreicht mit dem Fortschritt der Produktentwicklung einen immer höheren Reifegrad. Je mehr die Produkteigenschaften sich entwickeln, desto feiner werden auch die zugehörigen digitalen Modelle, die für den jeweils aktuellen Produktzustand (bzw. die aktuelle Fragestellung in der Produktentwicklung) die bestmögliche Aussage liefern können. Somit wird schon innerhalb der Produktentwicklung der digitale Zwilling immer weiter angereichert.

Wie die obigen Ausführungen verdeutlichen, erfordert das modellbasierte Engineering einerseits Erfahrung mit der entsprechenden Art von Systemen (z. B. welche Effekte sind für die vorliegende Fragestellung wichtig und welche können weggelassen werden), andererseits solides Wissen über die einschlägigen Methoden der Simulationstechnik bzw. der numerischen Mathematik (welcher Löser ist für welche Art von Gleichungen sinnvoll einsetzbar, etc.).

Im Folgenden werden die Simulation dynamischer Eigenschaften und die Systemsimulation, d. h. die Simulation der dynamischen Interaktion verschiedener Teile eines Systems (mechanisch, elektrisch, hydraulisch, etc.), näher beleuchtet. Es gibt unterschiedliche Arten von Simulationsmodellen und Herangehensweisen. Die wichtigsten sind:

**Discrete-Event-Modell.** Dieses Modell beschreibt nur diskrete Ereignisse, keine kontinuierlichen Änderungen. Es nimmt in Abhängigkeit von Eingangssignalen und seines momentanen Zustandes einen neuen Zustand an. Die Zustandsänderung erfolgt ohne dynamischen Übergang, die Rechenzeiten sind vernachlässigbar. Beispiele sind Aufzugsteuerung, Ablaufsteuerung, etc.

**Modell für Systemsimulation.** Das Modell beschreibt das dynamische Verhalten eines Systems, das aus Baugruppen verschiedener Art besteht. Es enthält also mechanische, elektrische, hydraulische, pneumatische, thermische, fluidische, elektrochemische und/oder regelungstechnische Komponenten bzw. Softwarekomponenten (Embedded Software). Das Modell wird auf der Basis physikalischer Gesetze durch Differentialgleichungen, algebraische Gleichungen und diskrete Gleichungen beschrieben. Eine Mischung mit der Discrete-Event-Modellierung ist möglich. Die Parametrierung solcher dynamischer Simulationsmodelle ist oft aufwändig, da die Parameter erst aus anderen Tools extrahiert werden müssen (z. B. Massen und Trägheiten aus CAD-Systemen), oder Annahmen getroffen werden müssen, da kein Prototyp für eine Messung zu Verfügung steht (z. B. Reibkräfte). Typische Rechenzeiten dynamischer Simulationsmodelle reichen von unter einer Minute bis wenige Stunden.

**Finite Elemente Methode (FEM).** Eine kontinuierlich ausgedehnte Geometrie (2D- oder 3D-Körper, Strömungsfeld, etc.) wird in viele kleine Teilgebiete („finite Elemente“) eingeteilt („diskretisiert“). Die Lösung des Problems (Spannungen und Verformungen in einem Bauteil, Schwingungsformen, Eigenfrequenzen, Temperaturverteilung, Strömungsverteilung, Crash-Verhalten etc.) kann für jedes Einzelelement aufgrund dessen vereinfachter Geometrie gut approximiert werden. Aus der Kombination der Lösungen für die einzelnen Elemente wird die Lösung für die gesamte Geometrie gewonnen. Dank der Geometrieorientierung dieser Methode ist eine Schnittstelle zu CAD-Tools möglich und wird oft eingesetzt. Eine Kopplung verschiedener Domänen (z.B. Strukturmechanik und Fluidmechanik) ist möglich, aber aufwändig. Die Methode ist rechenintensiv, mit Rechenzeiten im Bereich von Stunden bis vielen Tagen.

**White-Box-Modell.** Es wird auf der Basis physikalischer Gesetze durch Differentialgleichungen und algebraische Gleichungen beschrieben.

Ein **Black-Box-Modell** ist im Gegensatz dazu ein rein mathematisches Modell ohne Bezug zur Physik. Der innere Aufbau des Modells und seine Funktionsweise sind nicht bekannt oder werden als unwichtig betrachtet. Man beschränkt sich bei der Beschreibung auf die Messung der Input-Output-Beziehungen eines Prototypen. Black-Box-Modelle basieren u. a. auf tabellierten Messwerten, einer statistischen Auswertung von Messungen oder einem neuronalen Netz, das anhand von Messungen trainiert wurde. Black-Box- und White-Box-Modellierung kann auch gemischt werden. Insbesondere für das Training von Black-Box-Modellen sind White-Box-Modelle sinnvoll, da z. B. Verschleißverhalten und z. T. auch Versagensverhalten physischer Produkte in White-Box-Simulationsmodellen manchmal nur schwierig darstellbar sind und/oder reale Trainingsdaten

nicht zu Verfügung stehen, da noch kein einsatzfähiger Prototyp existiert.

**Lineares Modell.** Im Allgemeinen sind dynamische Simulationsmodelle nichtlinear, d. h. die rückwirkende Kraft ist nicht proportional zur Auslenkung (z. B. nimmt quadratisch mit der Auslenkung zu). Für eine Reglerauslegung z. B. wird das nichtlineare Modell meistens linearisiert und der Reglerentwurf dann anhand des ursprünglichen, nichtlinearen Modells überprüft.

Auch der Einsatzzweck eines Simulationsmodells beeinflusst die Art der Modellierung:

- Offline-Simulation für allgemeine Berechnung: Die Simulation läuft unabhängig von der Zeit (nicht synchronisiert mit der realen Zeit).
- Offline-Simulation für spezielle Aufgaben: Das Simulationsmodell wird von einem übergeordneten Algorithmus ausgewertet (Kalibrierung, Optimierung, etc.)
- Echtzeit-Simulation: Die Simulation läuft synchronisiert mit der Zeit. Möglicherweise werden online, d. h. in einem festgelegten Zeitschema, Daten ausgetauscht (Anzeigen, AD/DA-Wandler, etc.).
- Hardware-in-the-Loop(HiL)-Simulation: Eine Echtzeitsimulation einer Systemkomponente (z. B. Fahrzeuggetriebe und Antriebsstrang) wird gekoppelt mit einer realen Komponente (z. B. Getriebesteuerung).
- Trainingssimulator: Echtzeitsimulation zur Bedienschulung mit tatsächlichen (oder emulierten) Ein- und Ausgabeeinheiten (Anzeigen, Schalter, Bedienhebel, Lenkrad, etc.).
- Virtuelle Inbetriebnahme: Die Simulationsmodelle mehrerer Systemkomponenten werden zum Zweck des Komponenten-tests miteinander verschaltet, z. B. Produktionsanlage und Steuerung. Anhand der Simulationsergebnisse kann u. a. die Steuerungssoftware überprüft werden (Software-in-the-Loop), aber auch Anlagen- und Prozessparameter können experimentell bestimmt werden, ohne eine reale Anlage zu benutzen. Umgekehrt können einzustellende Parameter der Steuerung anhand von Simulationen bestimmt werden (Model-in-the-Loop). Bei Verwendung von Echtzeitsimulationen in der virtuellen Inbetriebnahme können die simulierten Komponenten nach und nach durch reale Komponenten eines Systems ersetzt werden (per Plug-&-Play). Cloud-Technologien ermöglichen, dass sich z. B. eine Maschine beim Testen in der Herstellung mit dem virtualisierten Produktionssteuerungssystem des Kunden in der Cloud verbindet, Testeinheiten abarbeitet und damit die Schnittstellen und Kompatibilität der Datenmodellierungen überprüft werden können. Dies erleichtert erheblich die Integration in der Produktivumgebung beim Kunden und beschleunigt die Produktivsetzung.
- Restbussimulation: Bei Echtzeitsimulation einer Komponente einer verteilten Steuerung müssen u. U. die grundlegenden Funktionen der anderen Steuerungskomponenten (und die von ihnen gesteuerten Anlagenkomponenten) mit simuliert werden, um ein realistisches Betriebsszenario der eigentlich simulierten Steuerung zu gewährleisten (z. B. verteilte Steuerung in einer Produktionsanlage, Steuergerätenetzwerk im Fahrzeug, etc.)



## Wie Simulation das eigene Unternehmen aufwertet

Für viele Unternehmen stellt sich die Frage, wie und mit welchem Engagement sie einsteigen sollen, welche (CAE-)Tools für sie die richtigen sind und was ist erforderlich, um diesen Einstieg schnell und effizient umzusetzen. Allerdings können hierzu keine pauschalen Empfehlungen gegeben werden, doch zumindest einige grundsätzliche Statements.

Zum einen gilt auch hier: Digitalisierung ist Chefsache und der Einsatz der Simulation ist als Teil einer Digitalisierungsstrategie zu verstehen. Die bewusste Auseinandersetzung mit der Zielsetzung und dem eigenen Anspruch an die Technologie ist Grundvoraussetzung für eine sinnvolle Verwendung. Wenn man nicht selbst Experte ist oder auf Experten im eigenen Unternehmen zugreifen kann, empfehlen wir, einen kompetenten Berater hinzuzuziehen. Es gibt für jede Anwendung dutzende Tools und Vorgehensweisen. Die Erfahrung lehrt indes, dass kein Tool „Off the Shelf“ das mitbringt, was das jeweilige Unternehmen spezifisch benötigt.

Oftmals ist es sinnvoll, die ersten Erfahrungen mit Partnern gemeinsam zu machen, also die Simulation an einen kompetenten Experten auszulagern. Dies erspart zum einen teure Erstinvestitionen (Software, Hardware, Personal, Knowhow), ermöglicht also die entstehenden Kosten auf mehrere Schultern zu verteilen und damit auch deutlich schneller erste Ergebnisse zu erreichen. Andererseits ist spezifisches Simulations-Knowhow nicht umsonst Expertenwissen, und dieses schnell aufzubauen ist zumeist teuer, in jedem Fall sehr schwierig, da erfahrene Personal hierfür nur schwerlich zu finden ist.

Es zeigt sich zunehmend, dass kein Unternehmen in der Lage ist, jedes notwendige domänenspezifische Knowhow in der erforderlichen Tiefe selbst bereit zu halten. Hier gilt es auch seitens der Geschäftsleitung, Kernkompetenz und Marktcompetenz klar voneinander abzugrenzen.

Wenn derartige Technologien bereits im Einsatz sind, gilt es dennoch zu hinterfragen, wie mehr Nutzen aus dem Einsatz der Simulation gezogen werden kann. Auch hier helfen Experten für Simulationsmethoden und -prozesse, über eine Beratungsleistung die Potenziale zu erkennen und zu heben. Angefangen bei der Modellbildung mit Fragen nach z. B. Zieldefinition, Eigenleistung, Automatisierungsgrad, Standardisierung oder Sourcing lassen sich in jedem Unternehmen noch erhebliche Kosten- und Aufwandspotenziale aufdecken. Dies kann bis zu vollständig automatisierten Simulationsprozessen reichen, die via einer App dem Produktentwickler problemspezifisch zur Verfügung gestellt werden können. Für diese Beratungsleistungen finden sich im Markt ebenfalls kompetente Berater mit entsprechend eigenen Anwendungs- und Umsetzungserfahrungen.

Die zunehmende Komplexität auch in den „Nischentechnologien“ der Simulation erfordert eben Spezialisten mit deren Unterstützung der maximale Nutzen aus den verfügbaren Technologien gezogen werden kann.

## Modellbasierte Systementwicklung

Der systemische Ansatz in der Produktentstehung und damit verbunden Model-Based Systems Engineering (MBSE) gehören zu jenen Themen, die derzeit in den einschlägigen Fachkreisen für viel Furore sorgen. Doch so neu ist MBSE eigentlich nicht.

Denn Gerhard Pahl und Wolfgang Beitz haben mit dem Standardwerk „Konstruktionslehre“ bereits 1977 die wesentlichen Grundlagen hierfür zusammentragen.

Durch den Siegeszug von 3D-CAD freilich wurde der abstrakte, modellbasierte Zugang zur Lösung von Konstruktionsaufgaben für mindestens zwei Dekaden in den Hintergrund gedrängt, zumindest in den Leitbranchen Automobilindustrie und Maschinenbau. Im Grunde genommen steht die Einführung von CAD für das Errichten von Datensilos in den Domänen MCAD und ECAD, wobei die Mechanik-Fraktion lange Zeit die Wortführerschaft für sich in Anspruch nahm.

Nun, da wir an einem Punkt angekommen sind, an dem die domänenübergreifenden Abhängigkeiten in den Produkten derart zugenommen haben, dass mehr oder weniger in jedem Vortrag aus dem Engineering der Begriff „Komplexität“ fällt, ist sie wieder da, die große Stunde von MBSE.

Sind also die Grundlagen von MBSE so etwas wie der Schnee von gestern, hat sich bei den unterstützenden Tools jede Menge getan. So viel, dass es eine echte Herausforderung für jeden Fertigungsbetrieb ist, der willens ist, Tür und Tor seiner Entwicklungsabteilungen dafür zu öffnen, den Überblick zu erhalten: Welche Entwicklungswerkzeuge passen zu meinen Produkten? Welcher Systempartner kann mich bei meiner Reise hin zu MBSE kompetent begleiten? Hinzu kommt die Notwendigkeit einer kritischen Bestandsaufnahme der eigenen Engineering-IT-Infrastruktur mit Bezug auf die neuen Themen – denn natürlich sind Entwicklungswerkzeuge bereits im Einsatz und natürlich verrichten Simulationstechniken extensiv ihren Dienst. Deren Stellenwert und Wertbeiträge gilt es jedoch genau zu verorten, gegebenenfalls neue Rollen zuzuweisen und neue Tools anzuschaffen.

### Typische Ziele, die mit MBSE verfolgt werden, sind:

- verbesserte Kommunikation zwischen den Engineering-Disziplinen auf Basis eines allgemein verständlichen, formalen, eindeutigen und konsistenten Systemmodells
- systematisches Anforderungsmanagement einschließlich Anforderungsabprüfung
- Generierung von Engineering-Artefakten (z. B. Schnittstellenbeschreibungen) aus den Modellen
- funktionsorientierte Produktentwicklung im Sinne der Umsetzung von Modularisierungs- und Standardisierungsstrategien
- holistische Systemsimulation und -validierung zur Reduzierung der von Fehlern und Minimierung von Risiken
- virtuelle Inbetriebnahme des Produkts.

MBSE hat nicht primär die Modellverbesserung zum Ziel, sondern die optimale Organisation der interdisziplinären Entwicklungsprozesse und die Konsolidierung der Ergebnisse in einem gesamtheitlichen Produktmodell [1]. Ziel ist es, so möglichst viele Fehler in den frühen Entwicklungsphasen zu erkennen und zu beseitigen. MBSE umfasst nicht nur eine Beschreibungssprache wie SysML für die Aufgabenstellung, sondern es ist ein modellbasierter, vereinheitlichender Ansatz. Es geht um die präzise Definition von Anforderungen und zunächst abstrakt formulierte Funktionen, die die Anforderungen erfüllen sollen. Und die Funktionen sind in eine Produktarchitektur eingebettet.

MBSE fordert, dass der prozedural-basierte, ablauforientierte Ansatz im Engineering zugunsten eines Modell-basierten umgedacht werden muss. Ein Modell ist eine Art Plattform, bei der die Informationen in Form einer mathematischen Beschreibung zusammengefasst sind und alle Informationen miteinander verlinkt sind.

Literatur

[1] d1g1tal AGENDA 3/2018. Die Zukunft beginnt jetzt!, Baden-Baden

## Herausforderungen im Engineering-to-Order-Prozess

### JAN VOLLMAR, SIEMENS AG

Unternehmen des Engineer-to-Order-Geschäfts (ETO) sehen sich verschiedenen Trends wie Digitalisierung und die fortschreitende Globalisierung gegenüber. ETO ist ein Ansatz, bei dem die einzelnen Produkte für jede Kundenbestellung eigens konstruiert und gefertigt werden. Auch wenn das Endprodukt Standardteile enthält, ist ein eigener Produktionsablauf mit spezifischer Stückliste vonnöten. Typisch ist ETO u. a. beim Bau von Großanlagen sowie in der Unikatfertigung.

Die oben genannten Trends werden die Arbeitsweise in dieser Art von Produktentstehung radikal verändern, die sich in vier grundlegende Kategorien des ETO-Geschäfts Easy Engineering, Perfect Engineering, Zero Engineering, Pioneer Engineering und Crisis Engineering einteilen lassen.



Quelle: Siemens AG, 2017

**Easy Engineering** bezeichnet das Szenario eines geschlossenen Systems mit klar definierten Schnittstellen, einem bekannten, stabilen Verhalten und einer geringen, überschaubaren Anzahl bekannter Wirkzusammenhänge. Unternehmen, die Projekte in diesem Umfeld abwickeln, haben umfangreiche Erfahrung in der Realisierung solcher Umgebungen.

Die Umgebungen bestehen in diesem Umfeld meist aus einem stabilen Kern standardisierter (CAx-)Tools, die im Stammhaus entwickelt und gepflegt werden. In den Regionen werden die Systeme an vordefinierten Punkten und in einem eng vorgegebenen Rahmen projektspezifisch konfiguriert und angepasst. Easy Engineering zielt damit auf eine Stärkung des

lokalen Geschäfts ab, in dem es den Regionen Module und Werkzeuge (z. B. Konfiguratoren) zur Verfügung stellt. Während im Stammhaus also ein hohes Maß an systemischem Engineering-Wissen gefragt ist, reicht in den Regionen Knowhow zur Anpassung der Systeme aus, da das Engineering-Wissen in den Modulen gekapselt ist. Die Aufteilung der Tiefe des erforderlichen Detailwissens ermöglicht Projekte global abzuwickeln und das Geschäft zu skalieren.

**Perfect Engineering** zielt darauf ab, ein System optimal für den gesamten Produktlebenszyklus auszulegen. Dieses Umfeld umfasst typischerweise Großprojekte mit hohen Investitionskosten (z. B. Kraftwerke oder Hochgeschwindigkeitszüge), mit Modulen oder Komponenten, die auf bekannten Technologien basieren. Die kundenspezifische, technisch „perfekte“ Auslegung, oftmals basierend auf einer kontinuierlichen Verbesserung von vorhandenen Vorlagen, erfordert umfassende Engineering-Erfahrung der Unternehmen. Die Fähigkeit zur Integration auf Basis vorhandener Erfahrungen stellt dabei eine Kernkompetenz dar. Sie befähigt unter Anwendung von „System-of-Systems“-Ansätzen sowie etablierter Vorgehensmodelle nahezu beliebig komplizierte Systeme zu durchdringen und erfolgreich umzusetzen.

Unternehmen, die im Umfeld des Pioneer Engineering arbeiten, führen komplexe Projekte mit hohem Innovationsgrad durch (z. B. Offshore-Konverterplattformen, SpaceX, Hyper-Loop oder Transrapid). Innovation kann sich dabei auf die Neuheit des Projektumfangs, verwendeter Technologien oder auch vertraglicher Rahmenbedingungen beziehen. Charakteristisch für das Feld des Pioneer Engineering ist der Umstand, nicht auf bereits bestehende Erfahrungen in wesentlichen Aspekten des Vorhabens zurückgreifen zu können oder zu wollen. Dieses Umfeld ist daher durch Komplexität und Unsicherheit geprägt. Als „komplex“ bezeichnen wir ein System dann, wenn es offen (also zeitlich nicht konstant hinsichtlich topologischer Beziehungen einzelner oder mehrerer System-elemente) ist oder die im System wirkenden Kausalbeziehungen nicht (oder noch nicht) in allen wesentlichen Aspekten bekannt sind. Pioneer Engineering erfordert eine hohe Reaktionsfähigkeit und Agilität, um auf unerwartete oder neu auftretende Probleme schnell und angemessen reagieren und daraus lernen zu können. Systemarchitekturen im Pioneer-Engineering-Umfeld müssen einen Rahmen für emergentes Systemverhalten bieten und gleichzeitig frühes Lernen („Feedback“) zum Systemverhalten durch den Systemarchitekten ermöglichen.

**Crisis Engineering** zielt auf den richtigen Umgang mit Krisensituationen in einem Projektumfeld mit hoher Unsicherheit, Komplexität und Dynamik ab. Projekte dieser Kategorie setzen von den Unternehmen umfangreiche Maßnahmen zur Bewältigung von Bedrohungen voraus – vor, bei und nach deren Eintritt. Es sind spezielle Fähigkeiten und Techniken zum frühzeitigen Erkennen, Erfassen und Verstehen von Krisensituationen erforderlich. Der Umgang mit Krisensituationen hängt stark vom Umfeld bzw. den Projekten ab.

Literatur

Gepp, M. et al., „Ein Blick auf Zukunftsszenarien und Herausforderungen für das zukünftige Engineering im Anlagenbau“, Tag des Systems Engineering, 2017

## Funktionale Sicherheit und Traceability

**DR.-ING. HELMUT MEITNER, DRÄXLMAIER GROUP**

Die funktionale Sicherheit ist eine Systemeigenschaft durch die gewährleistet wird, dass ein System seine Funktionen bestimmungsgemäß zur Verfügung stellt und im Fehlerfall in einen sicheren Zustand übergeht. Gesetzliche Grundlagen für die funktionale Sicherheit sind das Produktsicherheitsgesetz und für Kraftfahrzeuge die Normenreihe ISO 26262. Haftungsrechtliche Konsequenzen ergeben sich aus dem Produkthaftungsgesetz.

Die Herausforderung für produzierende Unternehmen besteht darin, dass ausgehend von der Spezifikation eines Systems bis zur Auslieferung des Produkts über die einzelnen Wertschöpfungsschritte im Engineering und in der Produktion Daten aufgezeichnet werden müssen, um im Haftungsfall nachweisen zu können, dass die funktionale Sicherheit des Produkts sichergestellt wurde. Die Daten sind in unterschiedlichen IT-Systemen (z. B. PLM, ALM, MES Qualitätssysteme) gespeichert und müssen hinsichtlich eines spezifischen Produkts miteinander verknüpft werden. Um diese Verknüpfung herzustellen bietet sich der Einsatz von Datenvirtualisierung an. Tools sind im Markt verfügbar (z. B. von Denodo oder Tibco) und ermöglichen die Verknüpfung von Daten aus verteilten Quellen, von unterschiedlichen Orten und verschiedenen Formaten ohne einer Replikation der Daten.

## Cyber Security und Produktentstehung

**THOMAS TRÄGLER, SOFTWARE FACTORY GMBH**

Cyber Security wird heute vielfach als Schutz der Produkte vor Cyber-Attacken sowie die notwendigen Maßnahmen und Aktivitäten dafür im Produktentstehungsprozess (PEP) angesehen. Was ist jedoch mit dem Schutz und der Sicherheit der Entwicklungssysteme und -prozesse für diese Produkte? Was, wenn die Schwachstellen bereits während der Entwicklung durch Dritte identifiziert oder eingebaut werden (siehe vermutete Backdoor der NSA in diversen Sicherheitstechniken)? Durch die zunehmende Digitalisierung der Entwicklungsprozesse, die Einbeziehung der Supply Chain und der zentralen Verwaltung aller Engineering-Informationen in PLM- und ALM- (Application-Lifecycle-Management-) Systemen wird die „Angriffsfläche“ erheblich vergrößert. Damit erfordern diese Systeme einen erhöhten Schutzbedarf, der sich von einer Prevent-&-Protect-Strategie hinzu einer Detect-&-Respond-Strategie im Sinne von „BizSecOps“ ändern muss. Hierfür müssen die Systeme regelmäßig auf Anomalien überprüft werden und bei der Erkennung von Problemen eine Analyse und Rückverfolgung in die Vergangenheit ermöglichen. All dies erfordert natürlich den Einsatz von aktuellen und nicht veralteten Systemversionen mit allen verfügbaren Sicherheitspatches. Da kein 100-prozentiger

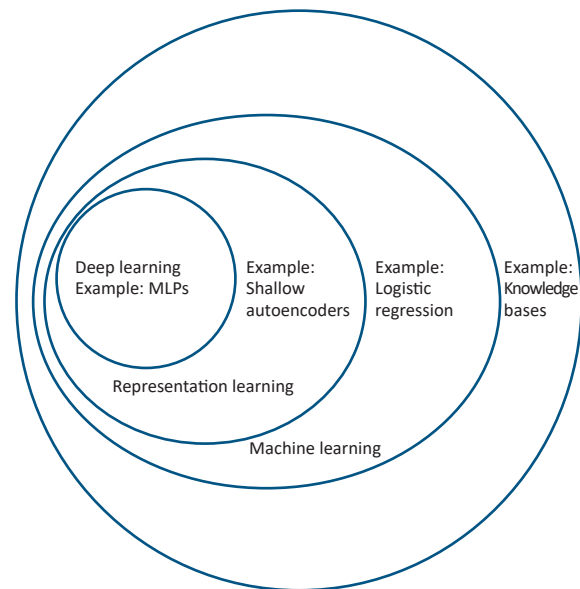
Schutz möglich ist, muss die Schutzwürdigkeit und welche Objekte oder Systeme besonders zu schützen sind, neu definiert werden.

Datenschutz, Schutz vor Manipulation und Schutz vor unberechtigtem Zugriff sind die Schlüsselemente im digitalen Entwicklungsprozess. Dem Faktor „Mensch“ kommt dabei eine besondere Rolle zu, da Fehlverhalten und mangelndes Bewusstsein für dieses Thema ein großes Sicherheitsrisiko darstellen. Datenschutz und Datensicherheit ist die Aufgabe jedes Einzelnen im Unternehmen und die Verantwortung der gesamten Organisation. Dies ist jedoch nur zu gewährleisten, wenn alle Mitarbeiter regelmäßig und aktuell ausgebildet und sensibilisiert werden.

## Künstliche Intelligenz

**DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH**  
**DR. KLAUS FUNK, ZENTRUM DIGITALISIERUNG.BAYERN**

Ob wir Stand heute schon über Intelligenz im Zusammenhang mit Maschinen reden können, sei hier nicht erörtert. KI bzw. das angelsächsische AI wird gerne als Synonym für die datenbasierten Erkennung von Gesetzmäßigkeiten (Mustererkennung) und Anomalien gesehen. Machine Learning stellt jedoch nur einen Teilbereich von KI dar [1].



Das Venn-Diagramm fasst Deep Learning als eine Art Repräsentationslernen auf, welches wiederum eine Art maschinelles Lernen ist. Maschinelles Lernen wird für viele, aber nicht alle KI-Ansätze genutzt. Jede Sektion des Venn-Diagramms enthält ein Beispiel für eine KI-Technologie.

Quelle: [www.deeplearningbook.org/contents/intro.html](http://www.deeplearningbook.org/contents/intro.html)

Auch die vom BMWi finanzierte Studie „Potenziale der Künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland“ [2] zeigt eindrücklich, wie weit das Thema KI gefasst werden kann, welche Ansätze existieren und dass z. B. auch Verfahren der eher klassischen Statistik in diesen Themenkreis einbezogen werden müssen. Ein Hauptaugenmerk wird dabei auf die Potenziale für die produzierenden Unternehmen in Deutschland gelegt, welches erheblich ist und von Führungskräften nicht ignoriert werden darf.

Die computergestützte Auswertung macht große Fortschritte und wird rasch im Engineering wie der Produktion oder an der Schnittstelle zum Kunden vermehrt Einzug halten. Nach der Studie „Machine Learning in deutschen Unternehmen“ [3] werden unter den Top100 der deutschen Unternehmen bereits im Jahr 2020 61 Mrd. € oder rund 25% durch digitaler Wertschöpfung mit KI-Algorithmen prognostiziert. Dazu gehören das Erkennen relevanter Bedarfe (Big Data Analysen à la Google/Facebook für Industriekunden, bedarfsgesteuerte Entwicklung), Machine-Learning-basierte Analysen, vorausschauende Steuerung und Maßnahmen (z. B. für Predictive-Maintenance-Szenarien). Auch sind durch adaptive Algorithmen neue, nicht geschlossen vorab berechnete Optimierungsprozesse möglich, welche in sich ändernden oder unscharf definierten Systemen ihre Stärken haben.

Das Potenzial ist groß, die Materie für viele Unternehmen ist jedoch noch nicht greifbar, die zugrundeliegende physikalische Modellbildung sehr aufwändig und der Return on Invest und die Kundenakzeptanz nicht leicht abzuschätzen. Nichts desto trotz sind dies Technologien die von jedem Unternehmen mit wachem Auge beobachtet werden müssen, zumal Länder wie China sehr massiv in diesem Bereich investieren und dies wiederum die KI-Technologieentwicklung beschleunigt.

#### Literatur

[1] [www.deeplearningbook.org/contents/intro.html](http://www.deeplearningbook.org/contents/intro.html), S. 9

[2] [www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/PAiCE\\_KI\\_Studie.html](http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/PAiCE_KI_Studie.html), 2018

[3] [www.crisp-research.com/publication/machine-learning-deutschen-unternehmen](http://www.crisp-research.com/publication/machine-learning-deutschen-unternehmen), 2017

# Standards

**DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH;  
CLEMENS SCHLEGEL, SCHLEGEL INNOVATION GMBH;  
CHRISTOF GEBHARDT, CADFEM GMBH**

Die im Zuge der Produktentwicklung anfallenden Informationen lassen sich grob in drei Bereiche kategorisieren:

- Produktspezifikation
- Geometrie- und Materialdaten
- Systemdynamik.

Produktspezifikationen werden oft in rein textueller Form festgehalten und ausgetauscht. Solange dies rein digital geschieht, liegt kein unmittelbarer Bruch der Durchgängigkeit vor. Für ein systematisches, firmenübergreifendes Requirements-Engineering ist eine solche Form einer Produktspezifikation trotzdem nur bedingt hilfreich.

In diesem Bereich ist SysML ein Standard mit nennenswerter Verbreitung [1]. SysML ist eine graphische Modellierungssprache zur Spezifikation, Analyse und Verifikation komplexer Systeme (HW, SW, Anlagen, Personen, etc.) mit der die Anforderung, Verhalten, Struktur und Parametrierung von Produkten beschrieben werden kann.

Darüber hinaus gibt es viele verschiedene Tools für das Requirements Engineering, die alle einen bestimmten Fokus haben (Spezifikation von embedded Software, Ausführbarkeit von Spezifikationen, Generierung von Testfällen, Interfaces zu bestimmten anderen Tools, etc.), aber keinen Standard unterstützen. Im Bereich der Produktspezifikation ist die Durchgängigkeit im Engineering oft nicht einfach zu realisieren.

Im Bereich der Geometrie- und Materialdaten ist STEP (Standard for the Exchange of Product model data) ein verbreiteter Standard zur Beschreibung von Produktdaten. STEP ist formal in der ISO-Norm 10303 definiert und umfasst neben den physischen auch funktionale Aspekte eines Produkts. Hierfür werden sogenannte Applikationsprotokolle für die verschiedenen Anwendungsbereiche zur Verfügung gestellt (z. B. STEP AP 214: Core Data for Automotive Mechanical Design Processes, STEP AP 233: Systems Engineering Data Representation). Der Austausch von rein geometrischen Daten im STEP-Format ist mit den allermeisten CAD-Tools möglich, darüber hinausgehenden Informationen (z. B. kinematische Beziehungen zwischen Bauteilen, etc.) lassen sich (Stand heute) hingegen kaum zwischen CAD-Tools transferieren, die STEP-Applikationsprotokolle werden nur vereinzelt unterstützt.

Für die Elektronikentwicklung hat sich ODB++ als Standard etabliert, um Geometriedaten von Leiterplatten-Designs zwischen verschiedenen EDA-Systemen (EDA: Electronic Design Automation) auszutauschen.

In der Halbleiterindustrie hat sich GDSII (ursprüngl. Graphical Design Station II oder Graphic Data System II) etabliert und bezeichnet den De-facto-Standard für Layoutdaten von integrierten Schaltkreisen. Das GDSII-Datenformat wurde bereits Anfang der 1970er Jahre entwickelt. Da dieses Format bereits recht alt ist und einige Limitierungen aufweist, versucht man diese Probleme mit einem modernen Nachfolger OASIS (Open Artwork System Interchange Standard) [2] endgültig zu lösen.

VHDL-AMS (IEEE 1076.1) ist eine Hardwarebeschreibungssprache für digitale, analoge und Mixed-Signal Systeme [3]. Nichtelektrische physikalische Systeme können damit auch beschrieben werden, jedoch hat sich VHDL-AMS in diesem Aspekt gegen Modelica nicht durchsetzen können. Daher wird VHDL-AMS hauptsächlich von Tools der Elektrik und Elektronik unterstützt.

Im Bereich der Systemdynamik hat der Standard FMI weite Verbreitung gefunden [4]. FMI ist ein Tool-unabhängiger Standard der sowohl den Austausch als auch die Co-Simulation von dynamischen Simulationsmodellen ermöglicht. Definiert werden die Interfaces und die Parametrierung. Das Modell selbst wird meist in einer DLL (Windows Bibliothek) oder einer Shared Library (Unix Bibliothek) abgelegt, der eigentliche Modellcode wird im Allgemeinen nicht offengelegt, der Austausch von Source-Codes ist aber möglich. Zurzeit wird FMI von mehr als 100 Tools unterstützt [5], es eignet sich also gut zum Modellaustausch über Tool-Grenzen hinweg. Auch SysML-Tools können auf diesem Weg physikalische Simulationsmodelle importieren.

Zur Beschreibung systemdynamischen Verhaltens in Simulationsmodellen hat die objektorientierte Modellierungssprache Modelica [6] als einziger Standard eine relevante Verbreitung gefunden und wird durch einige Tools unterstützt [7]. Die meisten Simulationstools der Systemdynamik verwenden jedoch ein proprietäres Format zur Modellbeschreibung.

## Literatur

[1] [omgsysml.org](http://omgsysml.org)

[2] [de.wikipedia.org/wiki/Open\\_Artwork\\_System\\_Interchange\\_Standard](https://de.wikipedia.org/wiki/Open_Artwork_System_Interchange_Standard)

[3] [standards.ieee.org/standard/1076\\_1-2017.html](http://standards.ieee.org/standard/1076_1-2017.html), [de.wikipedia.org/wiki/Very\\_High\\_Speed\\_Integrated\\_Circuit\\_Hardware\\_Description\\_Language](https://de.wikipedia.org/wiki/Very_High_Speed_Integrated_Circuit_Hardware_Description_Language)

[4] [www.fmi-standard.org](http://www.fmi-standard.org)

[5] [fmi-standard.org/tools](http://fmi-standard.org/tools)

[6] [www.modelica.org](http://www.modelica.org)

[7] [www.modelica.org/tools](http://www.modelica.org/tools)



# Syntax, Semantik und Informationsmodelle

DR. MARKUS RICKERT, FORTISS, LANDESFORSCHUNGSINSTITUT DES FREISTAATS BAYERN

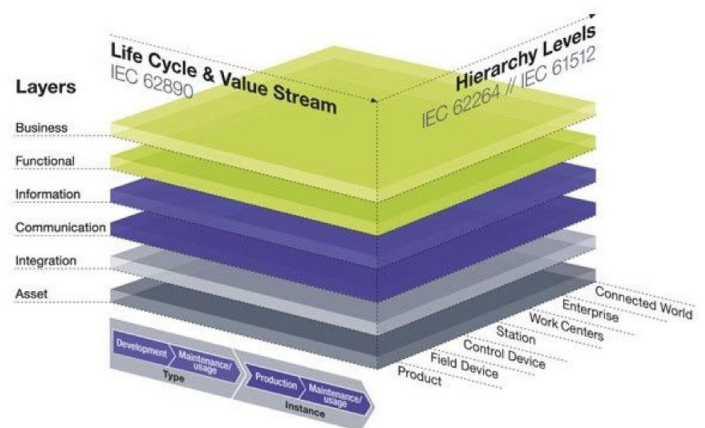
Dem Informationsmanagement [1] und durchgehenden Zugriff auf alle für einen Prozess relevanten Informationen kommt im Zeitalter von Industrie 4.0 eine entscheidende Rolle zu. Hierbei sind Informationen aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen und Technologie-domänen relevant, von den Geschäftsmodellen bis hin zu den aktuellen Sensordaten. Sämtliche dieser Informationen müssen dabei in digitaler Form vorhanden und für alle relevanten Systemkomponenten zugänglich sein, um einen entsprechenden Mehrwert generieren zu können. Zusätzlich muss eine ausreichende Datenqualität sichergestellt sein. Grundlegende Ansätze für eine Ablage von Daten reichen von einfachen Datenbanksystemen bis hin zum Data Warehouse [2]. Im Zeitalter echtzeitfähiger Prozesse und Analysen kommt dabei Systemen, die diese Art von Daten direkt im Speicher verfügbar halten, eine große Bedeutung zu [3]. Die Integration von verschiedenen Informationen erfordert dabei Modelle, die über eine reine Datenablage hinausgehen und semantische Verbindungen zwischen diesen Informationen erlauben.

**Produktlebenszyklusmanagement (PLM)** ist ein systematisches Konzept für die Verwaltung und Entwicklung von Produkten und produktrelevanten Informationen. Dies beinhaltet sowohl den Produktprozess selbst, von der Produktentwicklung bis hin zu Weiterentwicklung und Marketing, als auch den Kundenprozess inklusive Vertrieb, Beschaffung, Herstellung, Auslieferung, Service und Wartung. Alle dabei entstehenden Informationen sollten digital verfügbar sein, unabhängig von Zeit, Ort oder Dateneigentum [4].

Im Kontext PLM beziehen sich Produktdaten auf folgende Informationen, die in drei grobe Kategorien eingeteilt werden können. In den Definitionsdaten sind die physikalischen und funktionalen Produkteigenschaften festgelegt. Die Lebenszyklusdaten beinhalten die aktuelle Phase des Produkts oder des Bestell- bzw. Auslieferungsprozesses. In den Metadaten sind darüber-liegende Informationen wie der aktuelle Aufenthaltsort des Produkts oder der Ablageort seiner Daten hinterlegt [4]. Als Grundlage zur Identifikation, Kodierung oder Benennung von Produkten, Produktelementen, Modulen, Komponenten, Materialien, Dokumenten oder anderen Dingen werden abstrakte Objekte verwendet. Diese Objekte können innerhalb von Klassen logisch strukturiert werden, z. B. in Grafik- oder CAD-Daten [4].

Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Informationseinheiten im Unternehmen werden in Informationsmodellen beschrieben. Das Produktinformationsmodell beschreibt die für das Produkt relevanten Information und deren Zusammenhänge auf einer konzeptuellen Ebene, wie den

Aufbau eines Produkts aus einzelnen Teilmodulen oder deren Inkompatibilität. Das zugrundeliegende Produktmodell enthält Informationen zu einem spezifischen Produkt, das in verschiedenen Varianten vorliegen kann [4].



Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

Quelle: Plattform Industrie 4.0

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) stellt ein Gerüst zur Abbildung wesentlicher Aspekte im Kontext von Industrie 4.0 dar. Es beinhaltet drei verschiedene Sichtweisen, um komplexe Zusammenhänge der Industrieautomation überschaubar zu strukturieren [5].

Auf der ersten Achse wird eine Hierarchie der Fabrik gemäß IEC 62264 (Enterprise-Control System Integration) und IEC 61512 (Batch Control) von Produkt zu vernetzter Welt definiert. Hierbei wird im Kontext von Industrie 4.0 das Produkt nicht länger als isoliert, sondern als Teil des Netzwerks aus smarter Fabrik, vernetzter Welt und smarter Produkte angesehen. Die Kommunikation ist nun sehr flexibel und dynamisch zwischen allen Systemen und Maschinen und nicht länger strikt hierarchisch zwischen den klassischen Ebenen der Automatisierungspyramide. Funktionen sind damit nicht länger an einzelne Hardwarekomponenten gebunden, sondern können beliebig in diesem Netzwerk aus Hardware- und Softwarekomponenten verteilt werden [5].

Der Produktlebenszyklus auf Basis von IEC 62890 (Lifecycle-Management von Systemen und Produkten der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik der Industrie) wird auf der zweiten Achse dargestellt. Dies beinhaltet sowohl die Entwicklungsphase eines Produkttypen inklusive Konstruktion, Simulation,

Prototyp-entwicklung, Benutzerhandbuch etc. als auch die Produktionsphase mit der eigentlichen Produktinstanz, seiner Seriennummer, den Daten, seiner Wartung bis hin zum abschließenden Recycling [5].

Die dritte Achse beschreibt die IT-Architektur. Die unterste Schicht stellen Gegenstände der realen Welt wie beispielsweise Aktuatoren, Sensoren, Bauteile oder Dokumente dar. Darüber liegt eine integrierende Schnittstelle für die entsprechende Darstellung dieser Gegenstände in der IT-Infrastruktur inklusive Mensch-Maschine-Schnittstellen. Die Kommunikationsschicht dient der vereinheitlichten Verbindung zur darüber liegenden Informationsschicht. Die Informationsschicht hat das Ziel, höherwertige Daten zu gewinnen, dabei werden unterschiedliche Daten integriert und Verarbeitungsregeln formal beschrieben. In der nächsten, funktionalen Schicht werden Funktionen formal beschrieben und horizontal integriert zur Absicherung der Integrität von Prozessinformationen und -zuständen. Die oberste Geschäftsschicht bildet Geschäftsmodelle ab und dient der Modellierung von Systemregeln auf Basis von Diensten aus der Funktionsschicht [5].

Im Kontext von Industrie 4.0 wird zudem das Konzept einer Verwaltungsschale definiert (angelsächsisch: Asset Administration Shell, AAS). Ein Gegenstand wird erst mit dieser zu einer Industrie 4.0-Komponente und in die Kommunikation mit anderen I4.0-Komponenten über eine eindeutige ID eingebunden. Gegenstände beinhalten dabei nicht nur Maschinen, sondern z. B. auch Produkte, CAD-Daten, Handbücher, Verträge oder Bestellungen. Verwaltungsschalen können sich dabei auf Maschinen und deren zugehörigen Steuerungen befinden oder z. B. bei Dokumenten über Cloud-Systeme abgebildet werden. Eine I4.0-Komponente kann mehrere Gegenstände abdecken, z. B. innerhalb eines Antriebssystems. Zudem können mehrere I4.0-Komponenten einander logisch zugeordnet werden, etwa alle I4.0-Komponenten innerhalb einer Maschine [5,13,14].

Ein Verwaltungsschale besteht hierbei aus einem Header mit allen Angaben zur Identifikation von sich selbst und den darin enthaltenen Gegenständen. Im zugehörigen Body sind die konkreten Informationen über die entsprechenden Gegenstände in verschiedenen Teilmodellen abgelegt, z. B. für „Auftragsmanagement“ mit Elementen wie Auftrags- und Positionsnummer oder „Achsteuerung“ inkl. der aktueller Position und Geschwindigkeit. Teilmodelle sind dabei auf Basis existierender Standards wie z. B. ecl@ss für Produktklassen oder IEC 61987 zur Definition von Datenstrukturen und -elementen formuliert, bei denen die Umsetzung einzelner Aspekte in die vier Merkmal-Klassen Basis, Pflicht, Optional und Frei aufgeteilt ist. Die beiden Klassen Basis und Pflicht dienen dabei der Gewährleistung einer Interoperabilität unter unterschiedlichen Herstellern [13,14].

Ein offener Standard für den Austausch von Konstruktionsdaten, die im Kontext der Entwicklung von Produktionsanlagen entstehen, ist AutomationML. Grundlage hierfür ist ein XML-basiertes Daten-format, das den verlustfreien Austausch dieser Daten zwischen den Programmen einer Werkzeugkette ermöglicht. Abzudecken sind hierbei die fünf Phasen Analyse, grundlegende Planung, detaillierte Planung, Systemintegration und Inbetriebnahme. Dies bedingt die Abdeckung der Topolo-

gie des Produktionssystems von Betriebsebene bis hin zu Geräten und mechanischen Bauteilen, mechanischen Daten wie Geometrien, Kinematiken oder Materialeigenschaften, sowie elektrischer, pneumatischer und hydraulischer Daten wie elektronischen Zeichnungen oder Rohrleitungsplänen [6].

AutomationML baut auf einer Reihe bestehender XML-basierter Datenformate wie z. B. CAEX für topologische Beschreibungen, COLLADA für Geometrie- und Kinematikbeschreibungen oder PLCopen XML für steuerrelevante Logik auf. CAEX dient auf oberster Ebene der objektorientierten Beschreibung von semantischen Rollen einzelner Objekte in einer Klassenhierarchie, z. B. ein mechanisches Bauteil, ein physikalisches Gerät oder ein logisches Netzwerk. Schnittstellenklassen bieten eine weitere Art der Modellierung an, um abstrakte Verbindungen zu anderen Elementen oder Informationen über Modellgrenzen hinweg auszudrücken. Systemeinklassenspezifikationen als dritte Modellierungsvariante stellen wiederverwendbare Systemkomponenten dar, die z. B. als Vorlage zur Strukturierung domänenspezifischer Modelle verwendet werden können [6].

Die flexible Kommunikation in verteilten Systemarchitekturen ist im Kontext von Industrie 4.0 von entscheidender Bedeutung. Zentral ist hierbei die offene OPC Unified Architecture (OPC UA). Im Gegensatz zum klassischen OPC hat OPC UA neben dem reinen Transport von Daten auch die Modellierung von Informationen zum Ziel. Um eine höherwertige semantische Darstellung von Daten zu ermöglichen, die über reine Namensgebung und Angabe von Maßeinheiten hinausgeht, können weitere semantische Informationen wie z. B. die mit den Daten verbundene Geräteklasse dargestellt werden. Da eine Modellierung von Informationen ohne abgestimmte Strukturen zu inkompatiblen und herstellerspezifischen Lösungen führen würde, können entsprechend abgestimmte Spezifikationen für diese Modelle definiert werden. Diese können im Anschluss von einzelnen Herstellern spezifisch für ihre Geräte erweitert werden [7].

Als Grundlage hierfür dienen u. a. Prinzipien der objektorientierten Modellierung mit Klassenhierarchien und Vererbung. Informationen zu den Typen einzelner Daten sind jederzeit abrufbar. Verknüpfungen von verschiedenen Klassenhierarchien über einzelne Knoten sind möglich, um gleiche Informationen auf unterschiedliche Arten zu repräsentieren. Klassenhierarchien und Verknüpfungsarten können dabei jederzeit erweitert werden, ebenso sind keine Einschränkungen bezüglich der Art der Modellierung vorgegeben. Das Modell wird dabei stets auf dem OPC UA Server vorgehalten.

Eine Vielzahl an relevanten Spezifikationen im Kontext von Industrie 4.0 existieren bereits oder befinden sich derzeit in Entwicklung. Das OPC-UA-Informationsmodell für AutomationML ermöglicht den Austausch von AutomationML-Modellen über OPC UA. Auf der anderen Seite kann die OPC-UA-Systemkonfiguration dadurch als AutomationML-Modell hinterlegt werden [8]. Der VDMA entwickelt derzeit eine Reihe von sogenannten OPC UA Companion Specifications für Bereiche wie Robotik, industrielle Bildverarbeitung, oder elektrische Antriebe.

Einen umfassenden Ansatz zur strukturierten Ablage von Wissen stellt das Semantic Web dar. Hinter diesem steht der Anspruch, das World Wide Web von einem textbasierten und nur für Menschen lesbaren Web zu einer strukturierten und für

Computer verständlichen Variante weiterzuentwickeln. Relevante Inhalte in Bezug auf eine Wissensfrage müssen in diesem Ansatz nicht per Sprachverarbeitung aus mehreren unstrukturierten Texten extrahiert, semantisch aufbereitet und verknüpft werden. Stattdessen sind Daten unterschiedlicher Domänen semantisch modelliert und logisch miteinander verknüpft [9].

Grundlage hierfür ist eine graphbasierte Modellierung aus Knoten und Kanten, die im Resource Description Framework (RDF) standardisiert ist. Einzelne Elemente werden hierbei über einen Universal Resource Identifier (URI) eindeutig identifiziert und in Form von Tripeln aus Subjekt, Prädikat und Objekt miteinander verknüpft. Hiermit kann beispielsweise folgendes modelliert werden: Bauteil X hat Seriennummer Y. Diese werden in speziell dafür angepassten Datenbankstrukturen abgelegt. Das RDF-Schema (RDFS) stellt eine Erweiterung zur Umsetzung einfacher Ontologien in Form von Klassen- und Beziehungshierarchien dar. Das Bauteil X kann damit zur Klasse „Zylinder“ gehören. Ähnlich zur Abfragesprache SQL für relationale Datenbanken gibt es auch bei Graphdatenbanken eine Reihe von graphbasierten Abfragesprachen, z. B. die SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL) [9].

Eine weitere Ergänzung dieses Modellierungskonzepts stellt die Web Ontology Language (OWL) dar. Durch ein größeres Vokabular können gegenüber RDFS weitaus komplexere Beziehungen beschrieben werden. Auch Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen aufgebauten Ontologien lassen sich damit modellieren. Beispielsweise kann hinterlegt werden, dass der Begriff „Bauteil“ in Ontologie A dem Begriff „Komponente“ in Ontologie B entspricht. Darüber hinaus unterstützt OWL verschiedene Arten von logischer Inferenz, die durch entsprechende Inferenzmodule bereitgestellt werden. Mit diesen können u. a. kausale, zeitliche und wahrscheinlichkeitstheoretische Zusammenhänge erfasst werden [9].

Ontologien, die auf Basis von OWL modelliert wurden, existieren für verschiedene Domänen. Auch der CAEX-Teil von AutomationML ist in einer OWL Ontologie verfügbar, um einen Austausch mit anderen Beschreibungen auf Basis des Semantic Web zu ermöglichen [10]. Im Kontext interaktiver Simulations- und Visualisierungssysteme ist beispielsweise die ARVIDA-Referenzarchitektur entstanden [11]. Dessen Vokabulare umfassen u. a. die Aspekte Metrologie, Unsicherheiten, Messvorgänge, mathematische Grundbegriffe, Services und räumliche Beziehungen. Eine Darstellung von Objekten eines Prozesses bis hin zu einzelnen Punkten, Linien und Flächen der zugehörigen CAD-Darstellung in Form einer entsprechenden Ontologie in Verbindung mit semantischen Modellen von Prozessschritten und Arbeitszellen kann der direkten Generierung von Roboterprogrammen dienen [12].

#### Literatur

- [1] Krcmar, H., „Informationsmanagement“ (6. Ausg.), Springer, 2015
- [2] Inmon, W., „Building the Data Warehouse“ (4. Ausg.), Wiley, 2005
- [3] Rabin, S., „The Real-Time Enterprise, the Real-Time Supply Chain“, *Information Systems Management*, 20(2), 58 – 62, 2003
- [4] Saaksvuori, A., Immonen, A., „Product Lifecycle Management“ (3. Ausg.). Springer, 2008
- [5] Adolphs, P., et al., „Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., 2015

- [6] Schmidt, N., Lüder, A., „AutomationML in a Nutshell“, *AutomationML Consortium*, 2015
- [7] Mahnke, W., Leitner, S.-H., Damm, M., „OPC Unified Architecture“, Springer, 2009
- [8] AutomationML e.V., OPC Foundation 2016, „OPC UA Information Model for AutomationML“, Spezifikation
- [9] Shadbolt, N., Hall, W., Berners-Lee, T., „The Semantic Web Revisited“, *IEEE Intelligent Systems*, 21(3), 91 – 101, 2006
- [10] Kovalenko, O., Grangel-Gonzalez, I. (23. März 2016 aufgerufen). „AutomationML Ontology“, [w3id.org/i40/aml](http://w3id.org/i40/aml)
- [11] Schreiber, W., Zürl, K., Zimmermann, P. (Hrsg.), „Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken: Das ARVIDA-Projekt – Dienste-basierte Software-Architektur und Anwendungsszenarien für die Industrie“, Springer, 2017
- [12] Rickert, M., Perzylo, A., „Industrieroboter für KMU: Flexible und intuitive Prozessbeschreibung“, *Industrie Management*, 32(2), 46 – 49, 2016
- [13] Adolphs, P., et al., „Struktur der Verwaltungsschale: Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2018
- [14] Bedenbender, H., et al., „Verwaltungsschale in der Praxis“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019

# Data Warehouse und Big Data

DR-ING- DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH

Das Data Warehouse stellt ein zentrales Datenbanksystem dar, das zu Analysezielen im Unternehmen einsetzbar ist. Das System extrahiert, sammelt und sichert relevante Daten aus verschiedenen heterogenen Datenquellen und versorgt nachgelagerte Systeme.

Data Warehouse beschreibt eine Plattform, die Daten aus verschiedenen Datenquellen sammelt, verdichtet, sie langfristig sichert und nachgelagerte Analysensysteme versorgt. Oft wird das Data Warehouse auch als Datenlager bezeichnet. Vorteil des Datenlagers ist, dass eine globale Sicht auf Daten aus unterschiedlichen Datenbeständen entsteht. Gleichzeitig vereinfacht sich der Zugriff auf die Daten für Anwender, da sie in einer zentralen Datenbank konsistent und strukturiert bereitgestellt sind. Außerdem werden durch die Einführung eines Data Warehouses die teilweise rechenintensiven Abfragen und Auswertungen von den Online-Systemen für die Datenaufnahme aus z. B. der Produktion entkoppelt. Dies hat den Vorteil, dass die produktiven Systeme, die teils in sehr kurzen Zeiten reagieren müssen, nicht durch die Abfrage, Auswertung und Reporting-Aufgaben belastet werden.

Den nachgelagerten Anwendungen bietet das Data Warehouse spezifisch erstellte Auszüge, die sogenannten Data Marts. Die bereitgestellten Daten lassen sich nach bestimmten Mustern analysieren und beispielsweise zur Ermittlung von betrieblichen Kennzahlen einsetzen. Oft stellt das Datenlager die Ausgangsbasis für das Data Mining dar [1]. Die Gesamtheit aller Prozesse zur Datenbeschaffung, Verwaltung, Sicherung und Bereitstellung der Daten nennt sich Data Warehousing.

Das **Data Warehousing** ist in vier Teilprozesse aufteilbar:

- Datenbeschaffung: Beschaffung und Extraktion der Daten aus verschiedenen Datenbeständen
- Datenhaltung: Speicherung der Daten im Datenlager inklusive Langzeitarchivierung
- Datenversorgung: Versorgung der nachgelagerten Systeme mit den benötigten Daten, Bereitstellung von Data Marts
- Datenauswertung: Analysen und Auswertungen der Datenbestände.

## Architektur und Prozesse des Data Warehouse.

Die Prozesse des Data Warehouse lassen sich in einem Architekturschaubild vier verschiedenen Bereichen zuordnen:

- Quellsysteme
- Data Staging Area
- Data Presentation Area
- Data Access Tools.

Die Daten für das Datenlager werden von verschiedenen Quellsystemen bereitgestellt. Die Staging Area des Data Warehouse extrahiert, strukturiert, transformiert und lädt die Daten aus den unterschiedlichen Systemen. Über die Staging Area gelangen die Daten in die eigentliche Datenbank des Datenlagers. Diese Datenbank stellt eine parallele Speicherplattform, die Data Presentation Area, zu den eigentlichen Quellsystemen dar und ermöglicht einen separaten Datenzugriff für Anwendungen und nachgelagerte Systeme.

Der Datenzugriff erfolgt über diverse Data Access Tools auf verschiedenen Ebenen, den Data Marts. In der Regel basiert das Data Warehouse auf relationalen Datenbanken, die sich mittels SQL-Abfragen (Structured Query Language) auslesen lassen [2]. Bei besonders großen Datenmengen kommen oft OLAP-Datenbanken (OLAP: Online Analytical Processing) für eine hierarchische Strukturierung der Daten zum Einsatz.

Das Data Warehouse wird meist in regelmäßigen Abständen mit neuen Daten beladen. Mehr und mehr setzen sich Systeme durch, bei der die Versorgung des Datenlagers in Echtzeit erfolgt. Das Data Warehouse sorgt für die saubere Trennung von operativen und auswertenden Systemen und ermöglicht Analysen in Echtzeit. Diese sind wiederum dafür nutzbar, operative Systeme zu steuern.

## Data Warehouse im Unternehmensumfeld:

Im Unternehmensumfeld kommt das Data Warehouse in vielen Bereichen zum Einsatz. Es soll als unternehmensweit nutzbares Instrument verschiedene Abteilungen und die Entscheider flexibel unterstützen. Das Datenlager stellt die benötigten Daten für die Anwender zur Analyse von Unternehmensprozessen und -kennzahlen bereit. Für folgenden Aufgaben ist das Datenlager nutzbar:

- Kosten- und Ressourcenermittlung
- Analyse von Geschäfts- und Produktionsprozessen
- Bereitstellung von Reports und Statistiken
- Ermittlung von Unternehmenskennzahlen
- Bereitstellung von Daten für weitergehende Analysen und Data Mining
- Strukturierung und Harmonisierung von Datenbeständen für eine globale Unternehmenssicht.

## Big Data – der Data Lake als Ergänzung zum Data Warehouse.

Im Big-Data-Umfeld ist es notwendig, auf eine Vielzahl an Informationen zuzugreifen, die oft nur in unstrukturierter Form zur Verfügung stehen [3]. Zudem sind deutlich größere Datenmengen zu beschaffen und bereitzustellen.

Um diese Herausforderungen zu meistern, ist das ergänzende Konzept des Data Lakes entstanden [4]. Das Data Warehouse kann mithilfe des Data Lakes zu einer Big-Data-Analyseplattform ausgebaut werden. Der Data Lake bietet hohe Speicherkapazität und ermöglicht es, große Datenmengen abzulegen. Gleichzeitig ist er in der Lage, verschiedene Datenformate, auch unstrukturierte, zu verarbeiten. Die im Data Lake gespeicherten Daten können bei Bedarf für Analysen herangezogen werden.

Allerdings sind die heterogenen Data-Lake-Informationen in einem Zwischenschritt aufzubereiten, damit Anwender mit den passenden Tools darauf zugreifen können. Durch geeignete Transformationen entstehen aus den unstrukturierten Rohdaten des Data Lakes strukturierte Datenbestände, die sich mit den Data Access Tools des Data Warehouse darstellen und analysieren lassen.

Die systematische Auswertung von immer größer werdenden Datensammlungen stellt Unternehmen vor immer größeren Herausforderungen. Dabei fehlt aber teilweise einfach das Know-how, um Big-Data-Projekte erfolgreich durchführen zu können. Man folgt einfach nur den gerade aktuellen Trends und Buzz-Words. Dadurch kommt es häufig zu wenig erfolgreichen Herangehensweisen und es treten regelhaft ähnliche Muster auf:

Suche ohne konkretes Ziel. Es wird ein Datentopf ausgewählt und der Auftrag lautet, mit Hilfe von neuronalen Netzen nach „Interessantem“ zu suchen, was typischerweise kostengünstig von einem Praktikanten erledigt werden soll. Das führt allerdings dazu, dass ohne klares Ziel meist wenige Erkenntnisse gewonnen werden, keine adäquate Methodenauswahl stattfindet und somit die Ergebnisse weit hinter den Erwartungen zurückbleiben.

„Wir machen erst einmal einen Data Lake.“ Hier wird alles umfänglich gesammelt, aber meist ohne Vorüberlegungen oder -strukturierungen. Dies basiert auf dem Irrglauben, dass man so viele Daten wie möglich in das System packen sollte, um maximal viele und maximal flexible Auswertungen durchführen zu können. Dies führt allerdings zu hohen Anfangsinvestitionen mit sehr hohen Ergebniserwartungen, aber ohne klare Abschätzung des späteren Nutzens und ohne klare Use Cases. Daher ist die Gefahr hoch, evtl. auch „aufs falsche Pferd zu setzen“ und es ist mit Performance- Problemen zu rechnen.

Sammeln und systematisieren. Beim gegenteiligen Extrem zum Data Lake werden zwar auch möglichst alle Datentöpfe zusammengeführt, allerdings mit deutlicher Systematisierungsabsicht. Analysen stehen erst nach Erledigung der „Hausaufgabe“ an. Bei diesem Vorgehen fallen viele Organisationen dann „auf der anderen Seite vom Pferd“. Das Systematisieren nimmt kein Ende, Datenanalysen und Quick Wins bleiben aus und es entstehen wiederum hohe Kosten ohne absehbaren, konkreten Nutzen. Oftmals fehlen dann bei ersten Analysen auch immer noch die richtigen Daten in der richtigen Form.

Deshalb müssen sich Unternehmen auch bei Big-Data-Projekten im Vorfeld Gedanken machen über sinnvolle Use Cases und passende Analysemethoden, die unter Berücksichtigung der Kosten-Nutzen-Relation einen Mehrwert bieten. Ein blindes Vertrauen auf den neuesten Technologiehype ist vielfach nicht zielführend. Eine vorgeschaltete Potenzialanalyse ist zu empfehlen und kann hier Aufschluss geben. Für weitere Details im Umgang mit und der Anwendung von Big Data sei auf die in Kürze erscheinende VDI-Richtlinie 3714 [5] verwiesen.

### Literatur

[1] [www.bigdata-insider.de/was-ist-data-mining-a-593421](http://www.bigdata-insider.de/was-ist-data-mining-a-593421)

[2] [www.bigdata-insider.de/was-ist-eine-relationale-datenbank-a-643028](http://www.bigdata-insider.de/was-ist-eine-relationale-datenbank-a-643028)

[3] [www.bigdata-insider.de/was-ist-big-data-a-562440](http://www.bigdata-insider.de/was-ist-big-data-a-562440)

[4] [www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-data-lake-a-686778](http://www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-data-lake-a-686778)

[5] [www.vdi.de/nc/richtlinie/?tx\\_wmdbvdirilsearch\\_pi1%5Bpro\\_id%5D=7309&cHash=2a55ca4b5e31bd0557e6e262f32d0c82](http://www.vdi.de/nc/richtlinie/?tx_wmdbvdirilsearch_pi1%5Bpro_id%5D=7309&cHash=2a55ca4b5e31bd0557e6e262f32d0c82)



# Digitale Durchgängigkeit und Interoperabilität

**DR.-ING. HELMUT MEITNER, DRÄXLMAIER GROUP;  
DR. MARKUS RICKERT, FORTISS, LANDESFORSCHUNGSINSTITUT DES FREISTAATS BAYERN;  
JAN VOLLMAR, SIEMENS AG**

Wie bereits bei den Informationsmodellen hervorgehoben, sind bei einer digitalen Durchgängigkeit im Kontext von Industrie 4.0 verschiedene Ebenen des Unternehmens und Arten von Informationen relevant. Daten aus dem Einkauf betreffen hier beispielsweise Abläufe in der Logistik. Änderungen in CAD-Daten von Produkten oder Arbeitszellen haben Einfluss auf Programmabläufe. Die Analyse von Sensordaten kann eine Anpassung von Parametern der Ablaufsteuerung bedingen oder sogar den Austausch von Geräten empfehlen. Mehrere Arten von Interoperabilität sind hierbei gegeben – von der reinen Konvertierung von Datenformaten über abgestimmte Kommunikationsprotokolle bis hin zu semantischer Verknüpfung von Informationen und angepassten Planungen.

In der klassischen Automatisierungspyramide [1] ist eine strikte Trennung der verschiedenen Ebenen vorgesehen, typischerweise von der untersten Prozessebene über die Feldebene, Steuerungsebene, Prozessleitebene hin zur Betriebsebene und Unternehmensebene. Die Kommunikation in und zwischen den einzelnen Ebenen ist nicht standardisiert. Eine Anbindung von Sensordaten an Analysemodule auf höheren Ebenen ist dadurch erschwert. Einzelnen Hardware- und Softwarekomponenten auf den unteren Ebenen können nicht einfach zu höherwertigen Modulen kombiniert werden. Ein standardisiertes Kommunikationsprotokoll wie OPC UA [2] ermöglicht die Interoperabilität innerhalb und über mehrere dieser Ebenen hinweg. Fähigkeiten einzelner Komponenten können hierarchisch zu höherwertigen Fähigkeiten kombiniert werden. Über Publish-Subscribe-Konzepte kann auf Sensordaten sowohl von Regelkreisen auf unteren Ebenen, als auch von Analysemodulen auf höheren Ebenen zugegriffen werden. In Verbindung mit Erweiterungen des Ethernet-Standards in Richtung Echtzeitfähigkeit [3] ist eine strikte Ebenenstruktur aus Gründen von Qualitätsanforderungen einzelner Verbindungen nicht länger erforderlich. Im Sinne einer serviceorientierten Architektur und verteilten Cloud/Edge-Computing-Konzepten können Komponenten in Zukunft wesentlich flexibler miteinander verbunden werden.

PLM-Systeme können als Brücke zwischen verschiedenen Anwendungen zur digitalen Fertigung verstanden werden. Sie konvertieren abgelegte Datenformate bei Bedarf gemäß den Anforderungen einzelner Anwendungen und entsprechende objektorientierte Informationsmodelle sorgen für Verknüpfungen zwischen einzelnen Daten. Das PLM-System übernimmt

ebenfalls eine Versionierung dieser Daten, kann jedoch den konkreten Dateiinhalte im Allgemeinen nicht direkt interpretieren [4]. AutomationML [5] beschreibt ebenfalls in objektorientierter Weise den Zusammenhang von Konstruktionsdaten, beschränkt sich jedoch auf XML-Formate und übernimmt keine Konvertierung in andere Formate. Anwendungen müssen dieses Format explizit für einen Datenaustausch unterstützen.

In OPC UA [2] beschriebene Daten sind mit semantischen Informationen angereichert. Eine bestimmte Ausgabe eines Sensors ist daher kein reiner Zahlenwert, sondern kann einer entsprechenden Bedeutung zugeordnet werden. Sensoren unterschiedlicher Hersteller, deren Ausgabe die gleiche semantische Bedeutung haben, können daher von einer Anwendung gleichbehandelt werden. Welche konkreten Informationen ein Gerät bereitstellt, kann über dessen Informationsmodell abgefragt werden. Techniken des Semantic Web [6] ermöglichen eine semantische Beschreibung von Daten auf vielen Ebenen. Dies kann sowohl einzelne Sensorwerte, als auch Baupläne bis hin zu einzelnen Konstruktionselementen abdecken. Konzepte aus unterschiedlichen Bereichen können dadurch semantisch beschrieben und miteinander verknüpft werden. Durch entsprechende Logik und Inferenzregeln lässt sich Wissen entsprechend aufbereiten und für Entscheidungen bei der Planung einzelner Teilschritte oder von Gesamtabläufen einsetzen.

Die Programmierung von industriellen Anlagen und Roboterzellen sieht derzeit noch eine manuelle Definition einzelner Programmieranweisungen vor. Der Ablauf von Industrieanlagen wird über standardisierte Programmiersprachen in einer speicher-programmierbaren Steuerung (SPS) festgelegt, bei der Maschinen über eine Reihe von Ein- und Ausgabesignalen miteinander kommunizieren. Industrieroboter verfügen ebenso über herstellereigenspezifische Programmiersprachen, über die einzelne Aktionen wie Fahrbefehle aufgerufen oder Werkzeuge über Ein-/Ausgabesignale gesteuert werden. Graphische Bedienoberflächen mit Anbindung an CAD-Daten ermöglichen eine Verbindung zu geometrischen Informationen von Produkten und Produktionslayouts zur Simulation und Definition von Zielpunkten, erfordern jedoch ebenso eine manuelle Programmierung für einzelne Varianten von Produkten. Bei Änderungen der Produktdefinition oder der Anlage selbst steht im Allgemeinen eine komplette Neuprogrammierung an.

Im Gegensatz zu dieser klassischen manuellen Definition von Programmabläufen stehen Konzepte aus der Servicerobotik, bei denen stattdessen eine Zielbeschreibung verwendet wird (z. B.: „Bitte bring mir ein Glas Wasser aus der Küche“) [11]. In Verbindung mit der Beschreibung von Fähigkeiten des Systems, Allgemein- und Domänenwissen, den definierten Anforderungen der Aufgabe und einem Planungssystem wird hierbei automatisch ein Programmablauf generiert. Insbesondere bei einer hohen Anzahl an Varianten eines Produkts wird erst damit eine Automatisierung der Fertigung wirtschaftlich interessant [9]. Übertragen auf die industrielle Fertigung bedeutet dies, dass sämtliche für die automatische Ableitung von Programmen notwendigen Informationen für das Planungssystem in semantischer Form zu Verfügung stehen müssen [10]. Dies beinhaltet sowohl Daten aus der Produktdefinition wie z. B. CAD-Zeichnungen oder elektrische Schaltpläne, als auch Daten des Produktionslayouts inklusive semantische Beschreibungen von Maschinen und Werkzeugen, bis hin zu Daten aus der Logistik. Über standardisierte OPC UA Skills für einzelne Domänen lassen sich vorhandene Geräte in einer Anlage flexibel austauschen [8].

Im VDI-Statusreport [7] wird der Begriff des durchgängigen Engineerings wie folgt definiert: „Durchgängiges Engineering ist [...] dadurch charakterisiert, dass das Erzeugnis eines Engineering-Arbeitsschritts [...] in einer Wertschöpfungskette möglichst verlustfrei und mit möglichst wenig Aufwand weiterverwendbar ist und möglichst keine redundanten Arbeitsschritte für diese weitere Verwendung notwendig sind“. Eine Durchgängigkeit kann gemäß [7] durch folgende Maßnahmen verbessert werden:

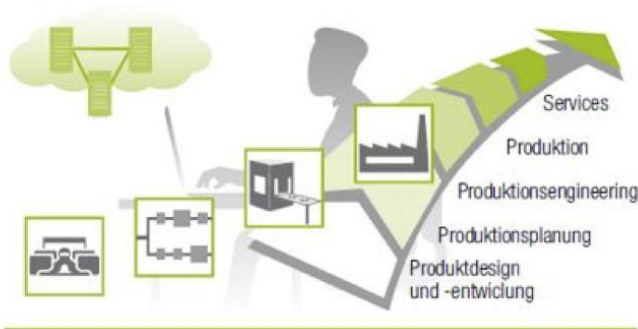
- Wertschöpfungsprozess-übergreifend genutzte Informationsmodelle
- Nutzung von Tool-Ketten
- Verwendung einer einheitlichen Syntax und Semantik
- Nutzung eines gemeinsamen Vorgehensmodells.

In Bezug auf die Datenflüsse bedeutet dies, dass Daten in jedem Schritt der Wertschöpfungskette konsequent in Datenobjekte so gespeichert werden, dass sie für nachfolgende Wertschöpfungs-schritte möglichst nahtlos weiterverwendet werden können.

Daher ist ein ganzheitlicher Ansatz notwendig, der alle Phasen und Prozessschritte digital und durchgängig miteinander verknüpft und auch Zulieferer anbindet. In jeder Phase entsteht ein virtueller Prototyp, der durch Simulationen und Tests neue Erkenntnisse liefert, die zur fortlaufenden Optimierung verwendet werden können. Unternehmen können somit an jedem Punkt ihrer Wert-schöpfungskette vom Produktdesign bis zum Service beginnen und die Durchgängigkeit des Engineerings sukzessive realisieren.

Hierzu stehen Systemlösungen von verschiedenen Systemanbietern zur Verfügung. Dort wird aus einer Hand eine einheitliche Lösung angeboten, etwa die „Digital Enterprise Suite“. Hierbei sollen zwei Zielgruppen mit unterschiedlichen Herausforderungen unterstützt werden:

### Digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette

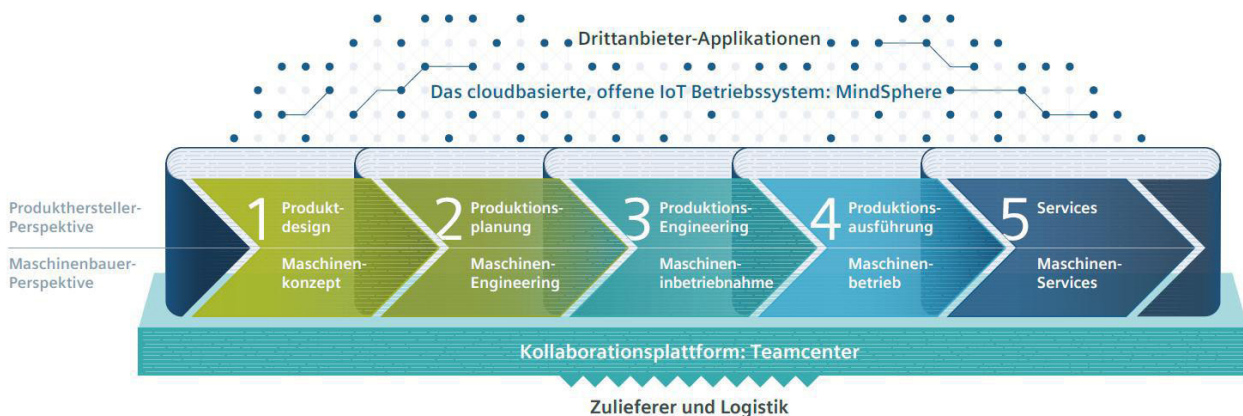


Einer der wesentlichen Aspekte von Industrie 4.0 besteht in der digitalen Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette

Quelle: BITKOM, VDMA, ZVEI: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 – Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0., 2015

Digital Enterprise Suite als Beispiel einer durchgängigen Tool-Infrastruktur

Quelle: Siemens AG, 2019



- Produkthersteller vom Produktdesign über die Produktionsplanung, das Engineering und die Produktion bis zu den Services
- Anlagenbauer von der Erstellung des Anlagenkonzepts über Engineering, Inbetriebnahme und den Betrieb bis zum Angebot von Services.

Die Planung effizienterer und flexiblerer Produktionsprozesse wird auf Basis einer gemeinsamen Kollaborationsplattform und eines unternehmensweiten Daten-Backbones gewährleistet.

Durchgängigkeit im Lebenszyklus. In Produktdesign und -entwicklung werden grundlegende Eigenschaften des Produkts (z. B. Geometriedaten im CAD) festgelegt. Diese Eigenschaften des Produkts werden gespeichert und in späteren Schritten weiterverwendet. Dies kann z. B. die Simulation eines Fertigungsschrittes sein, für den die Ergonomie eines Arbeitsplatzes analysiert wird. In Abhängigkeit von der Produktgeometrie und der Anordnung der zu montierenden Teile wird die Gestaltung des Arbeitsplatzes optimiert.

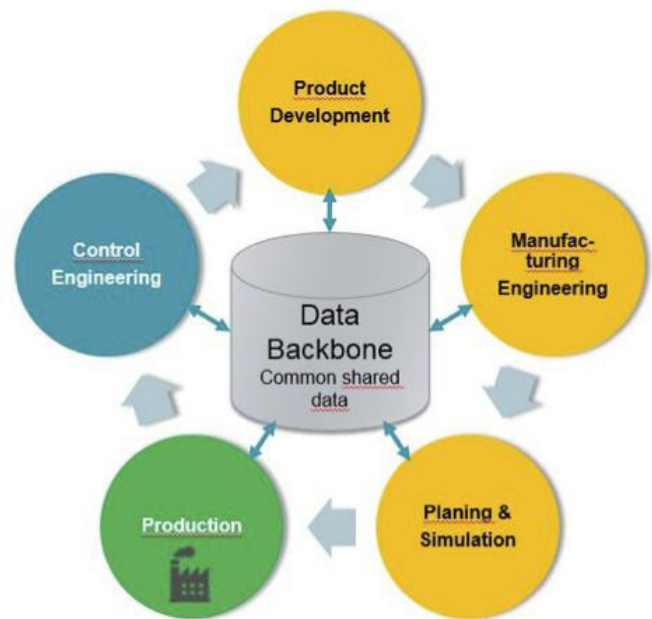
Das Produktionsengineering (auch: Manufacturing Engineering) ist verantwortlich für Entwicklung, Design, Implementierung und Monitoring von Betriebsmitteln (Maschinen, Anlagen und Werkzeuge) und Verfahren, die zur Produktion erforderlich sind. Ziel ist es, das Produktionssystem so auszulegen, dass eine zeit- und kosteneffiziente Herstellung des Produkts unter Einhaltung von Anforderungen der Arbeitssicherheit und Produktqualität sichergestellt ist.

Die Produktionsplanung (auch: Planning & Simulation) deckt alle Aktivitäten zur Werks- und Produktionsplanung ab. Dazu gehört insbesondere die Simulation von Werken und Produktionsprozessen. Durch Simulationsläufe lassen sich Produktionsprozesse, Materialflüsse und logistische Abläufe analysieren, visualisieren und optimieren. Optimierte Produktionsprozesse können dann mittels Offline-Roboterprogrammierung an die Fertigungsstätten übertragen werden. Erste Software für die Offline-Roboterprogrammierung ist heute bereits industriell verfügbar. In F&E wird an einem höherem Automatisierungsgrad und generischen Ansätzen für die Ansteuerung von Robotern und Automaten gearbeitet.

Die Produktion ist die eigentliche Herstellung des Produkts. Während der Herstellung des Produkts werden mittels Sensordaten aus dem Produktionsprozess erhoben. Aktoren ermöglichen eine direkte Veränderung des Produktionsvorgangs.

Control Engineering befasst sich mit der systematischen Analyse und Auswertung der Sensordaten aus der Produktion. Die Erkenntnisse dienen dazu Verbesserungen des Produktdesigns, der Produktionsprozesse und der Produktqualität zu ermöglichen.

Die Durchgängigkeit der Daten ist aber nicht nur für die lineare Wertschöpfungskette von Produktdesign und -entwicklung bis Services von Bedeutung. Für industrielle Fertigungsbetriebe ist es darüber hinaus wichtig, dass Daten aus dem Fertigungsprozess und die Erkenntnisse, die daraus gewonnen werden können dem Engineering in Produktdesign und -entwicklung zur Verfügung stehen, um das Produktdesign weiter zu optimieren. Dies führt zu einem geschlossenen Datenkreislauf, der in einem Closed-Loop-Ansatz realisiert wird.



Closed-Loop-Ansatz

Quelle: DRÄXLMAIER Group, 2017

#### Literatur

- [1] Meudt, T., Pohl, M., Metternich, J., „Die Automatisierungspyramide – Ein Literaturüberblick“, Technische Universität Darmstadt, 2017
- [2] Mahnke, W., Leitner, S.-H., Damm, M., „OPC Unified Architecture“, Springer, 2009
- [3] Time-Sensitive Networking (TSN) Task Group, 1.ieee802.org/tsn (24. Juli 2018 aufgerufen)
- [4] Saaksvuori, A., Immonen, A., „Product Lifecycle Management“ (3. Ausg.), Springer, 2008
- [5] Schmidt, N., Lüder, A., „AutomationML in a Nutshell“, AutomationML Consortium, 2015
- [6] Shadbolt, N., Hall, W., Berners-Lee, T., „The Semantic Web Revisited“, IEEE Intelligent Systems, 21(3), 91-101, 2006
- [7] Drumm, O., et al., „Durchgängiges Engineering in Industrie-4.0-Wertschöpfungsketten“, Statusreport, VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik, 2016
- [8] Dorofeev, K. et al., „Device Adapter Concept Towards Enabling Plug & Produce Production Environments“, IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 2017
- [9] Keddiss, N., Zoitl, A., Hill, J., „Die adaptive Fabrik von morgen (SpeedFactory)“, Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 45(5), 229 – 235, 2016
- [10] Rickert, M., & Perzylo, A., „Industrieroboter für KMU: Flexible und intuitive Prozessbeschreibung“, Industrie Management, 32(2), 46 – 49, 2016
- [11] Waibel, M., et al., „RoboEarth“, IEEE Robotics & Automation Magazine, 18(2), 69 – 82, 2011

# Wandel der Systemarchitekturen der Engineering-IT

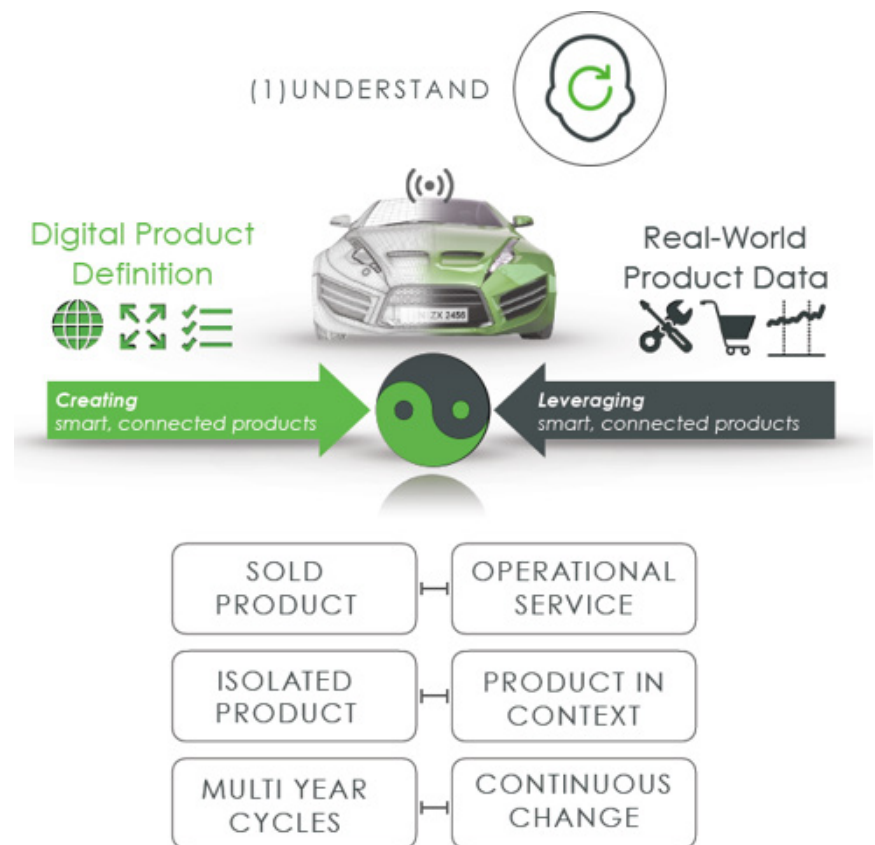
MICHELE DEL MONDO, PTC GMBH

Im Zeitalter vor Industrie 4.0 beziehungsweise bevor die des „Internet der Dinge“ eingeläutet wurde, postulierte jeder große Software-Systemanbieter, wenn es um das Thema Systemarchitektur ging, die sogenannte „Single Source of Truth“. Das Ziel, das hinter der Single Source of Truth verbirgt, besteht darin, möglichst viele Daten und Prozesse innerhalb eines einzigen Systems zu integrieren und abzubilden. Diese Art der Datenspeicherung und Prozessverarbeitung wird oft auch als „monolithische Systemarchitektur“ bezeichnet. Neben den von den Systemanbietern oft benannten Vorteilen (zum Beispiel weniger Systemschnittstellen), sprechen jedoch aus heutiger Sicht einige, gravierende Nachteile gegen einen derartigen Aufbau.

Auch wenn die großen Unternehmensanwendungen, die über Jahrzehnte hinweg im Einsatz sind und mit erheblichem Aufwand und Investitionen umfangreich an die eigenen Bedürfnisse angepasst wurden, sehr effizient sind, basieren sie doch aus heutiger Sicht auf veralteten Softwarearchitekturen. Denn die zugrundeliegenden Konzepte machen die Systeme zum einen starr und unflexibel und zum anderen wird es immer schwieriger, diese Systeme auf dem Stand zu halten und neue Technologien und Funktionen zu integrieren.

Betrachtet man die aktuellen Anforderungen, geprägt durch Themen wie IoT, Industrie 4.0, Digitalisierung, Augmented und Virtual Reality, so verschwimmen die Grenzen zwischen der digitalen und der realen Welt. Das heißt, Produktdaten werden nicht mehr nur im Engineering erzeugt, sondern auch vom fertigen im Einsatz befindlichen Endprodukt („Smart Products“) selbst. Um dieser neuen Datenflut gerecht zu werden und die neu gewonnenen Daten für das eigene Unternehmen in gewinnbringende Anwendungen zu transformieren, muss sich jedes Unternehmen die Frage stellen: Lässt sich mit der im Einsatz befindlichen Systeminfrastruktur auf sich schnell ändernde

- Kundenanforderungen (interne wie externe)
- Marktbedingungen (Merger & Akquisitions, neue Geschäftsmodelle)
- Vorgaben (Gesetze, Normen, Regularien) und andere Rahmenbedingungen

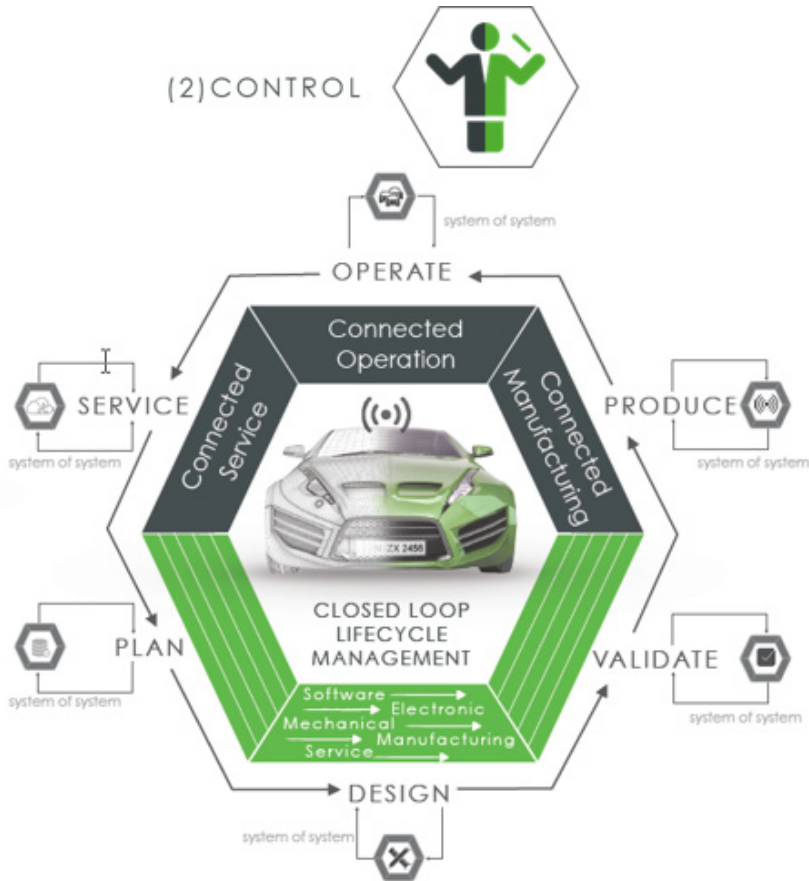


These 1: Das Verständnis über die Verschmelzung von Daten aus der Entwicklung, Produktion mit jenem aus dem Feld und dessen Beherrschung wird zur entscheidenden Schlüsselkompetenz.



These 2: Die Zusammenarbeit zwischen Menschen, Prozessen und Systemen war noch nie von so hoher Bedeutung wie heute. Eine rollenbasierte, durchgängig positive User Experience ist der Schlüssel zum Erfolg.

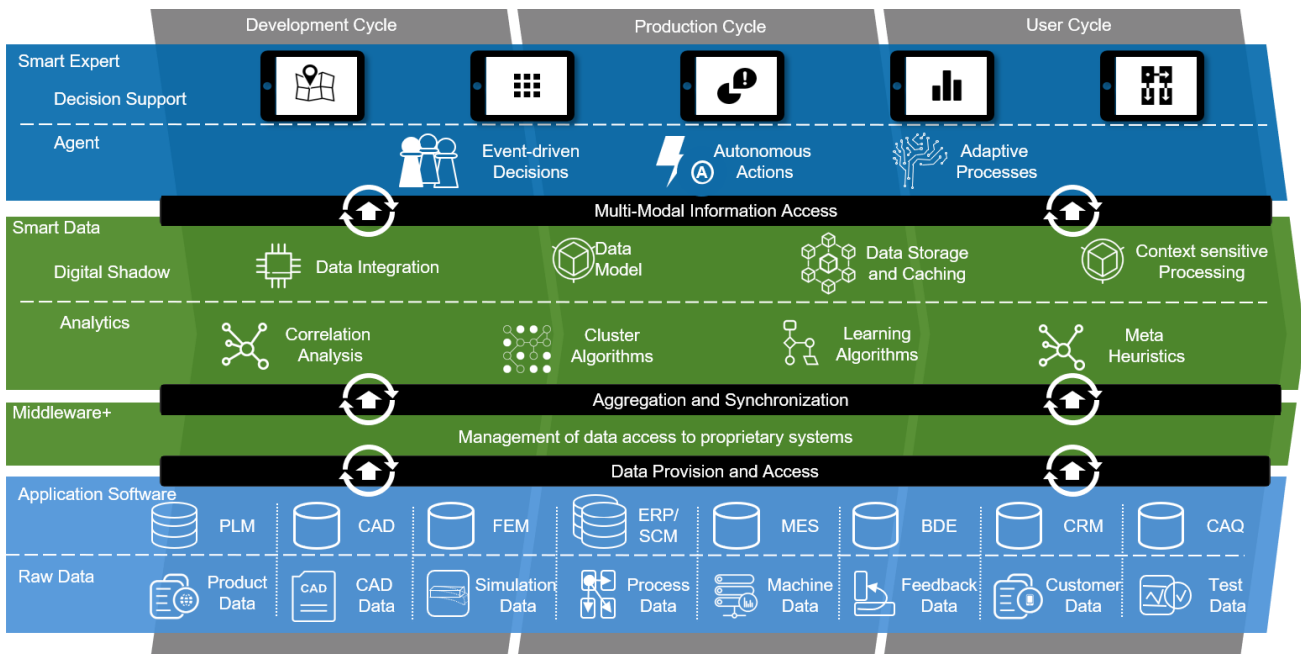
schnell genug reagieren? Damit die obige Frage inhaltlich richtig beantwortet werden kann, ist es hilfreich, sich mit den folgenden zwei Thesen auseinanderzusetzen und auf das eigene Unternehmen zu übertragen: Das zuvor gezeigte Bild mit der Schlüsselkompetenz „Understand“ (Verständnis) beschreibt den Wandel der Produkte im Kontext der Digitalisierung:



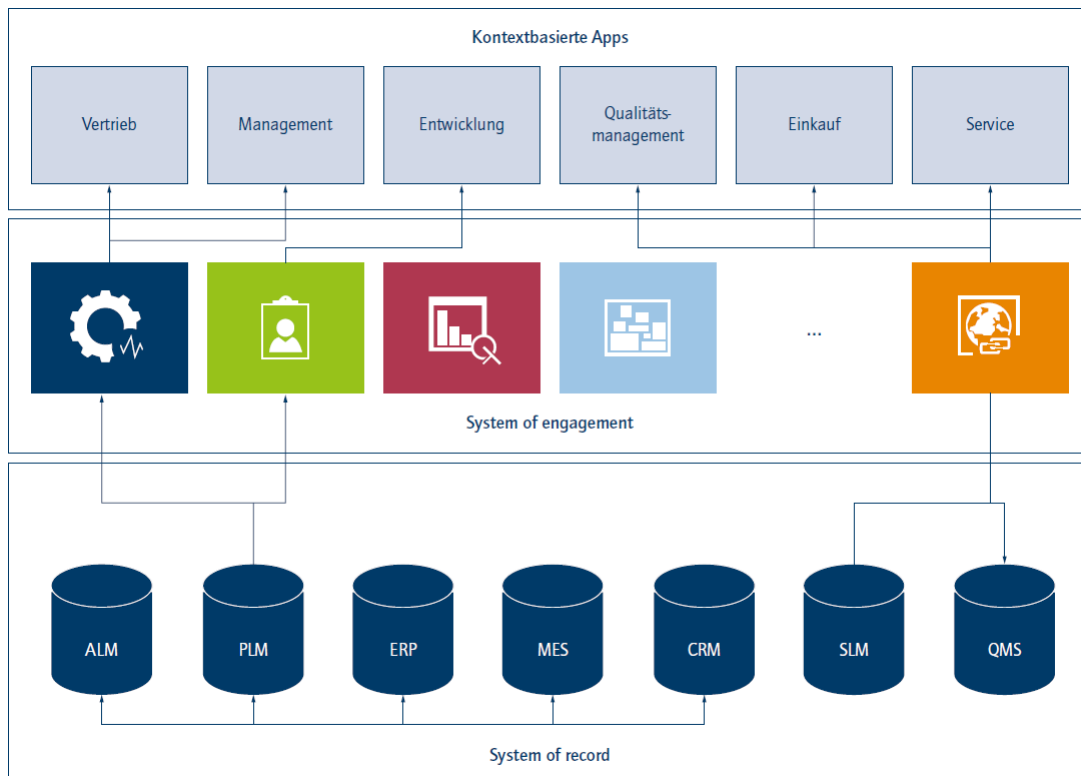
- Stand bisher das verkaufte Produkt und damit dessen Besitz als maßgebende Größe fest, so verlagert sich zunehmend der Fokus auf den Verkauf von Produktleistungen.
- Das Produkt als eigenständige Funktionseinheit wird ersetzt durch ein Produkt, das Mehrwerte bietet, indem es sich mit anderen Produkten und/oder Produktsystemen vernetzt.
- Produkte mit langjährigen Produktzyklen werden durch Produkte ersetzt, die über Software-Updates einem permanentem Änderungs- und Aktualisierungszyklus unterliegen.

Unter der Schlüsselkompetenz „Control“ (Beherrschung) versteht man die bestmögliche Beherrschung der Veränderung von einem bisher eher sequenziell ablaufenden Produktentstehungsprozess hin zu einem sogenannten Closed-Loop-Ansatz, bei dem in geschlossenen Kreisläufen permanent relevante Produktdaten gesammelt und in die Kernprozesse zur Umsetzung von Produktverbesserungen wieder eingespeist werden.

Schematische Darstellung der Referenzarchitektur. Mehr dazu findet sich in der acatech-Studie „Industrie 4.0 Maturity Index“







Quelle: PTC 2018

Wie bereits angedeutet, nimmt mit zunehmender Digitalisierung auch die Anzahl der von Anwendern zu bedienenden Systeme eher zu als ab. Es werden immer mehr Spezialistensysteme erforderlich sein, die zum einen von nur wenigen Anwendern bedient und verstanden werden und zum anderen aber wichtige Daten generieren, die für Folgeprozesse und/oder Entscheidungen unabdingbar sind. Es ist daher heute nicht unüblich, wenn beispielsweise ein Einkäufer in mehr als zehn Anwendungen Daten eingeben und abrufen können muss, um einen bestimmten Prozess zu bedienen. Gleiches gilt ebenso für einen Entwickler, Arbeitsvorbereiter oder Logistiker. Nachdem die Daten in unterschiedlichen System gehalten und gepflegt werden und sich die postulierte „Single Source of Truth“ nicht durchsetzen konnte, liegt die Frage nahe, wie eine Systemarchitektur der Zukunft aussehen könnte?

Nachdem diese Frage alle Unternehmen, unabhängig von der Branche und Größe, umtreibt, ist auf Basis einer engen Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung eine sogenannte Internet-of-Production-Referenzarchitektur entstanden.

In der vereinfachten Darstellung (siehe Grafik nächste Seite) werden die datenhaltenden Systeme als sogenannte „Systems of Records“ bezeichnet. Wie im Bild oben dargestellt, finden sich hier Systeme für das Produktdatenmanagement (PLM), ERP und MES für die Produktionsdaten, aber auch für CRM für

das Kundenmanagement. Über eine intelligente Middleware, oft auch als IoT-Plattform bezeichnet, werden die Systems of Records logisch und prozessual miteinander verknüpft, womit das sogenannte System of Engagement entsteht. Das System of Engagement ist in der Lage, über ein sogenanntes Tailoring dem Anwender kontextbasierte Apps bereitzustellen, eine für seine Aufgabe oder seinen Prozess zugeschnittene, systemneutrale Anwendung über ein einzelnes User Interface. Ein ständiges wechseln zwischen den verschiedenen Applikationen entfällt, womit gleichzeitig die Anwenderakzeptanz gesteigert werden kann.

Ein weiterer Vorteil der logischen Verknüpfung der System of Records ist, dass keine redundante Datenhaltung oder ein separater Data Backbone erforderlich ist und die Daten immer aktuell aus den Ursprungssystemen zur Verfügung stehen.

# Verständnis der Ressource IT im Wandel – Integration und Interoperabilität das Maß der Dinge

NORBERT FINKEL, COSCOM COMPUTER GMBH

Mit dem Einzug von CAx-Systemen hat die interne technische IT über die letzten Jahrzehnte hinweg enorm an Bedeutung gewonnen. Dennoch ist die Frage berechtigt, ob dies ausreicht, den aktuellen Herausforderungen produktionsfokussierter Betriebe gerecht zu werden?

Organisatorisch ist ein Betrieb in der Regel in betriebswirtschaftliche und technische Geschäftsprozesse gegliedert, die wiederum in Arbeitsgebiete münden wie Marketing, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Produktion/Fertigung und Rückbau. Die Computertechnologie ist mit den CA-Techniken wie CAE, CAD, CAP, CAM und CAQ in weiten Bereichen der diskreten Fertigung in „Topfloor“ (Engineering und Office-Anwendungen) und „Shopfloor“ (Produktion) verankert. Im Umfeld der Produktion trifft man auf den Begriff „Virtual Machining“. Gemeint ist damit eine Bündelung von Prozessen rund um die tiefe Integration von CAD mit CAM, Maschinensimulation und Folgeprozesse wie NC-Code-Erstellung.

War Anfang der 1980er Jahre die reine Datenerfassung wie die Betriebsdatenerfassung (BDE) in der Fertigung maßgeblich und davon weitgehend entkoppelt CAD-/CAE-Anwendungen, hielten später unterstützende Systeme für die Produktentwicklung wie CAD/CAE und für Planungs- und Steuerung von Arbeitsabläufen (PEP, PPS, etc.) Einzug. Ab den 2000er Jahren standen

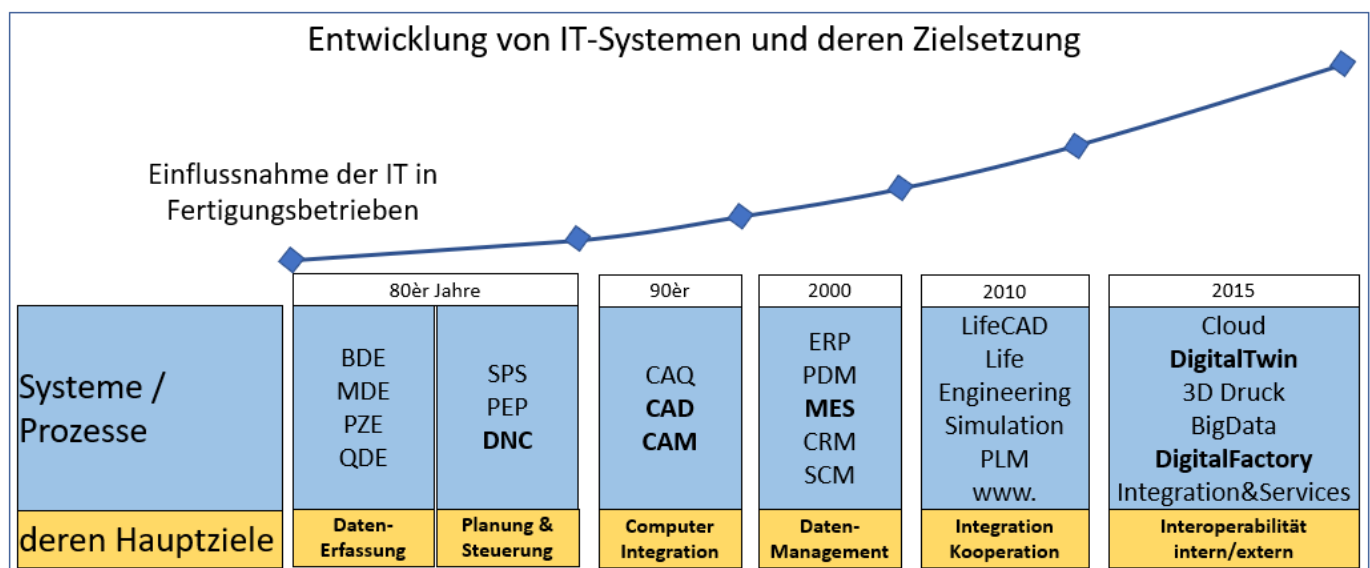
dann bei den IT-Projekten hauptsächlich die Integration der verschiedenen CAx-Anwendungen im Fokus.

Zu dieser Zeit traten Manufacturing Execution Systeme (MES) auf dem Shopfloor ihren Siegeszug an und andere monolithische Systeme wie ERP, PDM, SCM oder CRM eroberten Zug um Zug weitere Anwendungsfelder. Mit der Fokussierung auf die Datenintegration und der Unterstützung „kooperativer“ Prozesse bildeten sich Product-Lifecycle-Management-Systeme (PLM) heraus, mit einem hohen Grad an Customizing-Aufwand allerdings, der zum Teil die Kosten für den Support in ungeahnte Höhen trieb. Und seit etwa fünf Jahren orientieren sich die IT-Systemanbieter auf Interoperabilität und Services im Kontext von Industrial Internet of Things (IIoT). Alles in allem hat der Einfluss der IT in den Fertigungsbetrieben im Laufe der Zeit weiter an Bedeutung zugenommen.

IT-Projektverwaltung versus proaktiven Service-IT. Zunächst wurde „Ressource“ IT von der Fachabteilung für ein Vorhaben einfach angefordert. Die interne IT hat dafür die entsprechenden Ressourcen bereitgestellt, zeitlich das Projekt überwacht

Entwicklung von IT-Systemen und deren Zielsetzung

Quelle: COSCOM 2019



und dabei eine bestimmte Policy verfolgt, zum Beispiel in Hinblick auf Wartung- und Pflegeaufwand. Heute indes ist eine Veränderung im Verständnis zur Rolle und Identifikation eines jeden IT-Mitarbeiters zu beobachten. Das ist auch notwendig, denn der vermehrte Einzug von IT-basierter Prozessunterstützung in Entwicklung und Produktion erfordert den tiefgehenden fachlichen Austausch zwischen Top- und Shopfloor. Damit fällt der IT-Abteilung neben der umfassenden Service-Orientierung auch die Aufgabe des Innovationstreibers zu, die im Austausch mit der Fachabteilung bereichsübergreifend recherchiert, Themen bündelt und Fragestellungen klärt, ob die identifizierten Anforderungen auch für andere Bereiche interessant sein könnten oder ob gar schon eine Standardlösung zu einem bestimmten Themenkomplex verfügbar ist.

Brückenbauer produktionsnahe IT. Die erfolgreiche Umsetzung eines durchgängigen Digitalisierungsprojekts bis hinunter in den Shopfloor erfordert neben dem Kooperationsvermögen ein tiefes Verständnis der Prozesswelten von IT- und Produktion. Eine Verzahnung im gemeinsamen Verständnis ist aufgrund der Fachlichkeit und der heterogenen Infrastruktur der Produktion allein schon schwierig. Auch die räumliche Trennung von Topfloor und Shopfloor trägt ein Übriges zur Komplexität bei. Überwunden kann dies werden durch die Einführung einer „Zwischenschicht“, als das verbindende Glied. Auch wenn die Begrifflichkeiten dafür noch recht unspezifisch sind, scheint klar zu sein, dass das Ziel dabei eine neue Art der „Process Excellence“ ist. Oftmals wird die Abteilung, die sich mit diesen Themen beschäftigt, als „produktionsnahe IT“ bezeichnet. Meist handelt es sich dabei um sehr gut ausgebildete Experten mit einer starken Affinität zu IT-Themen.

Die Digitalisierungswelle mit ihren spezifischen Anforderungen an immer mehr Flexibilität hat auch zur Folge, dass die Her-

steller von monolithischen IT-Systemen unter dem Eindruck von „Standar-disierung“, sei es beispielsweise durch ERP- oder PLM-Projekte getrieben, sich öffnen müssen. Man geht daher davon aus, dass sich der Trend zur Entstehung neuer Prozessplattformen noch verstärken wird.

Die durchgängige Digitalisierung von Shopfloor-IT wie der papierlosen Fertigung steckt verglichen mit den Erfolgen auf dem Topfloor noch in den Kinderschuhen, was freilich auch der heterogenen Infrastruktur dort und der damit einhergehenden Prozessvielfalt geschuldet ist.

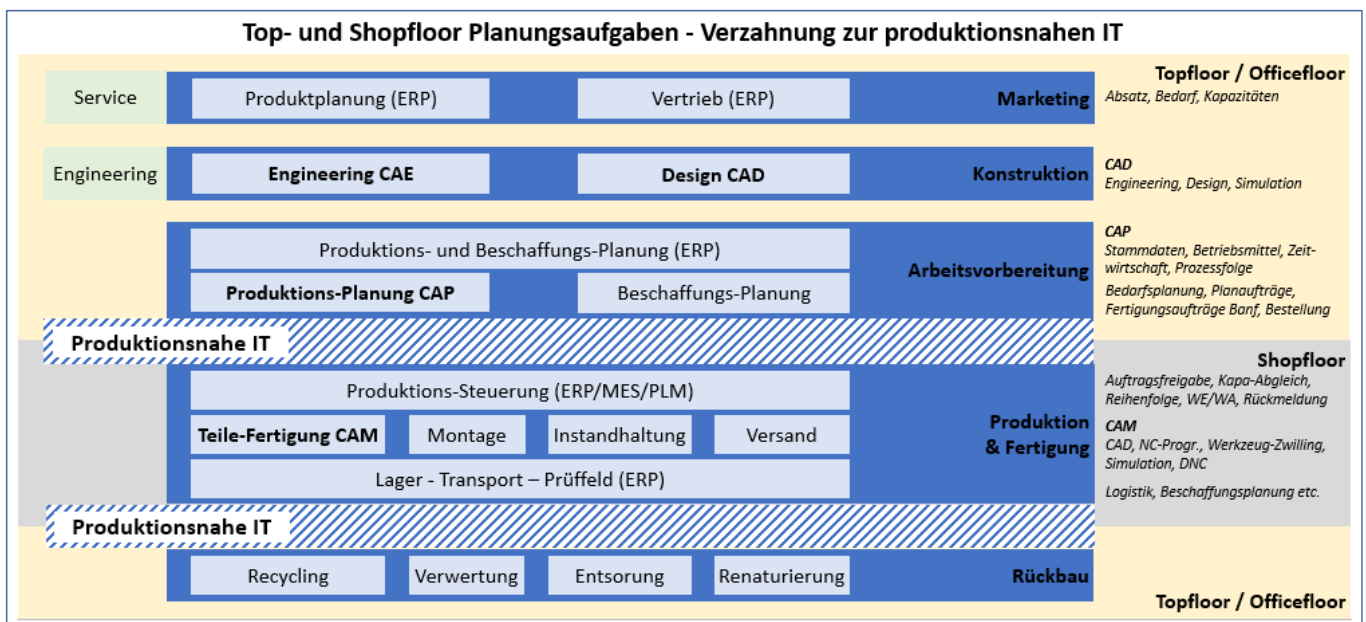
Das Geschäftspotenzial ist groß und somit verständlich, dass die Digitalisierung auch mittelständische IT-Dienstleister anspricht, für ihre Kunden neue Wege aufzubereiten.

Ein Beispiel ist die Verbindung von Engineering mit Production: Aus ERP-Daten und CAD-Zeichnung entstehen das Komplettwerkzeug und NC-Programm für die Herstellung des Produkts und mittels Maschinensimulation lässt sich die Kollisionsprüfung von Werkzeug und Rohling exakt durchführen. Alle relevanten Fertigungsdaten einschließlich Änderungsdienst lassen sich papierlos bis an das Bearbeitungszentrum oder die Werkzeugmaschine bringen. Dabei wird der Gesamtprozess in einer Prozessplattform abgebildet, die interoperabel alle am Prozess beteiligten IT-Systeme über eine Datenbank integriert. So ist zum Beispiel die Erschaffung des digitalen Zwillings des Werkzeugs mit all seinen Vorteilen möglich.

In Shopfloor- und Topfloor-Anwendungen in Engineering und Production überschneiden sich IT-Systeme, die klare Abgrenzung von ERP, PLM, MES tritt in den Hintergrund. Die Erkenntnis, dass nicht ein einzelnes IT-System oder IT-Systemanbieter alle Anforderungen zu erfüllen vermag, sondern ein Miteinander im Sinne von Integration und Interoperabilität diverser am Gesamtprozess beteiligter IT-Plattformen unerlässlich ist, hat die Kooperationsbereitschaft der zuvor oftmals konkurrierenden Anbieter begünstigt. Und das ist auch gut so, denn es schafft Freiräume für den Anwender und ermöglicht es ihm, die für ihn passgenaue Lösung als durchgängige Verkettung von Prozessen gewinnbringend umzusetzen.

Top- und Shopfloor-Planungsaufgaben – Verzahnung zur produktionsnahen IT

Quelle: COSCOM 2019



# Digitaler Zwilling

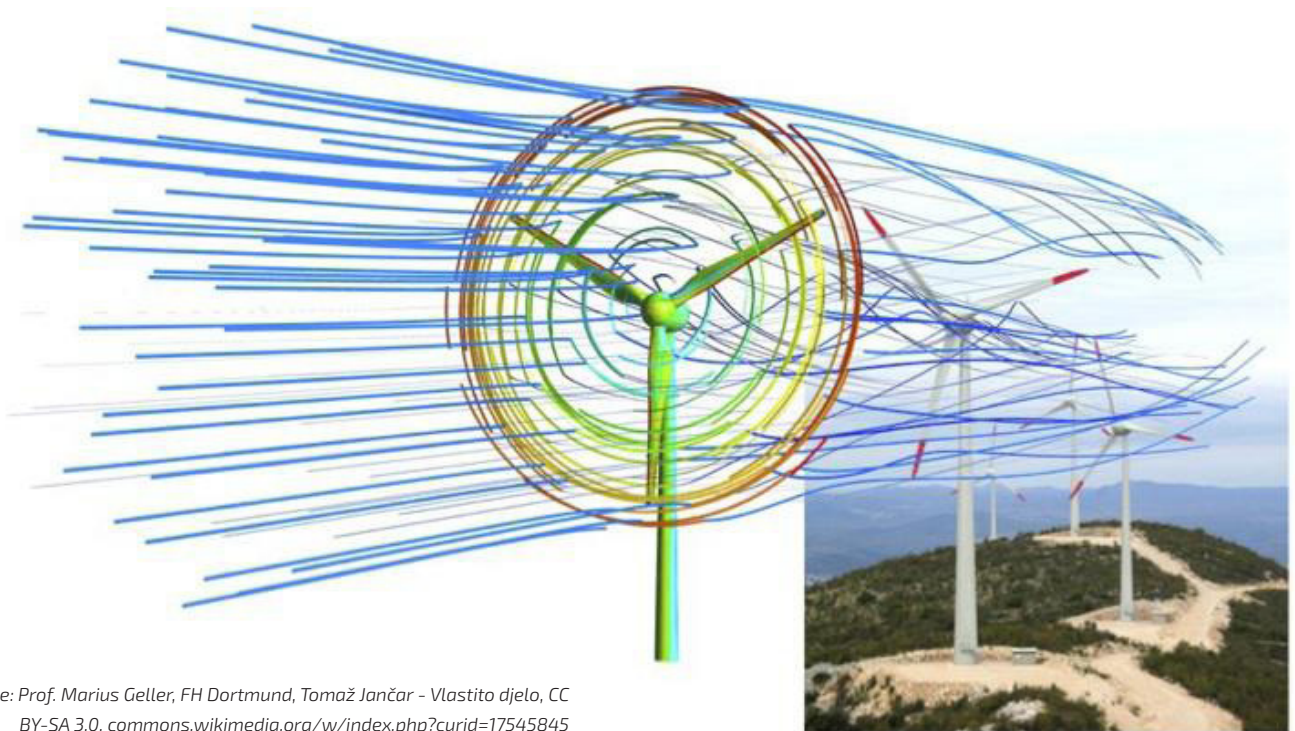
CHRISTOF GEBHARDT, CADFEM GMBH;  
DR.-ING. HELMUT MEITNER, DRÄXLMAIER GROUP

Der digitale Zwilling ist ein digitales Abbild eines individuellen Produkts, das sein physisches Pendant sein Leben lang begleitet. Sobald ein Produkt entsteht, produziert und montiert wird und in Betrieb geht, durchlebt es eine eigene Historie, in der seine Eigenschaften individuell beeinflusst werden. Alle Informationen und Daten, die aus der Produktentwicklung vorliegen, veralten ab dem Moment der Inbetriebnahme und können den tatsächlichen Produktzustand nicht mehr vollständig widerspiegeln.

In langlebigen Produkten wie Investitionsgütern, Maschinen und Anlagen besteht die Anforderung, eine hohe Verfügbarkeit sicherzustellen, Wartungsmaßnahmen mit entsprechenden Stillstandzeiten zu minimieren und gleichzeitig eine zuverlässige Funktion zu gewährleisten. Um diesen Spagat zu meistern, ist eine genaue Kenntnis des tatsächlichen individuellen Anlagenzustands unabdingbar. Deshalb erfassen Sensoren am physischen Produkt relevante Daten der Umgebungs- und Einsatzbedingungen, die eine solide Grundlage für eine Zustandsbewertung darstellen. Diese Daten können zwar grundlegende Informationen liefern, jedoch nicht alle für die Bewertung wichtigen Eigenschaften erfassen.

Hier bietet der digitale Zwilling erweiterte Informationen durch virtuelle Sensoren, d. h. durch Berechnungsergebnisse einer kontinuierlich aktualisierten Simulation. Denn die in der Realität auftretenden Lasten werden gleichzeitig in der Simulation berücksichtigt, indem die realen Sensordaten als Randbedingungen in das Simulationsmodell eingespeist werden. Die daraufhin ermittelten Berechnungsergebnisse können auch an schwer zugänglichen Stellen abgegriffen werden und liefern als **virtuelle Sensoren** Informationen, die über die realen Sensordaten deutlich hinausgehen.

So können Temperaturen in filigranen Strukturen (z. B. im Wickelkopf eines Generators), mechanische Spannungen in Kontaktzonen (etwa in einem Wälzlager) oder Strömungsverhältnisse in schmalen Querschnitten (wie im Luftspalt einer elektrischen Maschine) ermittelt und für eine detaillierte Zustandsbewertung herangezogen werden. Der digitale Zwilling ist also u.a. ein Simulationsmodell, das mit den zurzeit vorhandenen Randbedingungen beim Betrieb eines Produkts oder einer Anlage gespeist wird und das Aussagen liefert, wie der aktuelle Zustand aller relevanten Produkteigenschaften aussieht. Eine solche erweiterte Kenntnis des realen Produktzustands ist



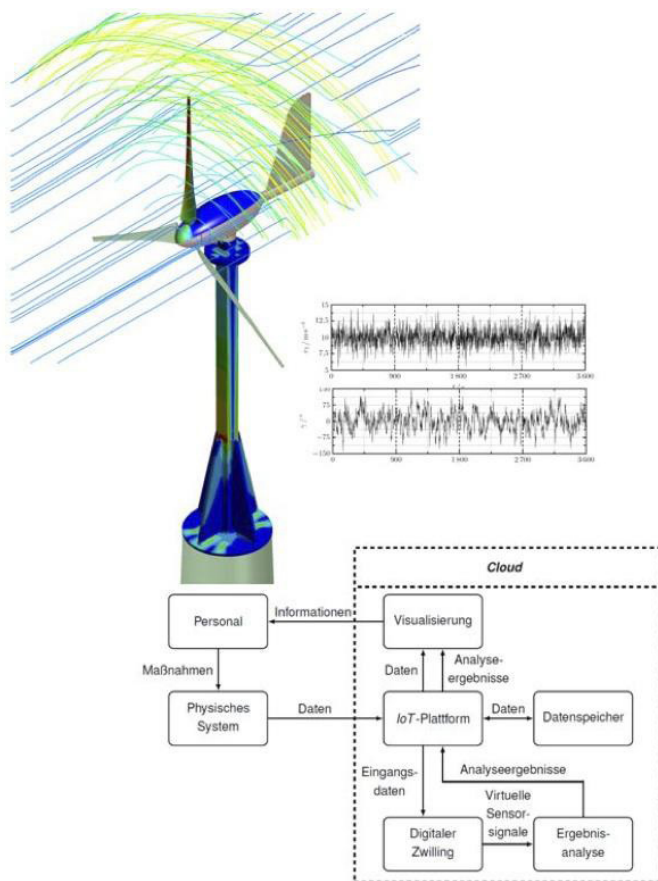
Quelle: Prof. Marius Geller, FH Dortmund, Tomaž Jančar - Vlastito djelo, CC BY-SA 3.0, commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17545845



entscheidend für eine zustandsorientierte Wartung. Diese setzt akkurate Ergebnisse voraus, um belastbare Aussagen zu erzielen, ermöglicht dadurch jedoch auch eine deutliche Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit im Servicegeschäft.

Um die geforderte Ergebnisqualität zu sichern, sind stark abstrahierte OD- oder 1D-Simulationsmodelle zu ungenau, dagegen sind aufwändige 3D-Simulationen per FEM und CFD (Strömungs-simulation) nicht in der Lage, den kontinuierlichen Strom an Sensordaten schnell genug zu verarbeiten. Daher bieten sich Verhaltensmodelle (Reduced Order Model, ROM) an, die aus 2D- oder 3D-Feldanalysen abgeleitet werden und sowohl die erforderliche Genauigkeit als auch die notwendige Geschwindigkeit gewährleisten. Die Interaktion der einzelnen Produktkomponenten wie Antriebe, Mechanik, Regelung und Elektronik wird durch die Kombination der einzelnen Verhaltensmodelle realisiert und in einem integrierten digitalen Produktmodell als digitaler Zwilling zusammengefasst.

Ein Beispielprojekt ist der digitale Zwilling einer Windkraftanlage, mit dem in Abhängigkeit der tatsächlichen Windrichtung und Stärke die Lebensdauer von Schweißnähten an verschiedenen Stellen im Turm ermittelt wird.



Quelle: Florian Hollaus / Management Center Innsbruck / CADFEM

Das Einspeisen von Sensordaten des physischen Produkts in den digitalen Zwilling kann über eine **IoT-Plattform** erfolgen. Sie stellt einerseits die Verbindung zum physischen Produkt her und bereitet die Sensordaten für den digitalen Zwilling auf. Andererseits nimmt sie die Ergebnisse des digitalen Zwillings in Empfang und stellt diese dem Servicemitarbeiter zur Auswertung bereit. Auf diese Weise können sowohl einzelne Produkte bewertet werden als auch komplette Gruppen von Produkten und Anlagen, z. B. je nach Region, Einsatzbedingung oder nach Verschleißzustand.



Zusammenhang zwischen digitalen Zwillingen und Big Data

Quelle: CADFEM / ITficient

**Big-Data-Analysen**, Mustererkennung und maschinelles Lernen ermöglichen darüber hinaus, Mechanismen für Verschleiß und Ausfall zu erkennen und Wartungsmaßnahmen zu koordinieren. Durch das systematische Sammeln und Auswerten von Produkteigenschaften während der Einsatzphase können die optimalen, an den tatsächlichen Einsatz angepassten Betriebsparameter identifiziert werden und es lässt sich das Nutzungsverhalten von Produkten und Anlagen besser erfassen. Zusätzlich bilden die gesammelten Daten eine solide Grundlage, um das Produktangebot – dem jeweiligen Einsatzfall entsprechend – zu optimieren. Die Einführung eines digitalen Zwillings ist somit ein wichtiger Schritt beim Wechsel von einem besitzorientierten zu einem service-orientierten Geschäftsmodell.



Konzept des digitalen Zwillings im Sinne eines „Digital Thread of Innovation“

Quelle: The Digital Twin/Hemmelgarn, Siemens PLM Europe, Berlin, 2017



Eine andere Leseart des digitalen Zwillings sieht die Unterteilung in Product Digital Twin, Production Digital Twin und Performance Digital Twin vor.

Der **Product Digital Twin** stellt die vollständige Entstehungsgeschichte des ausgelieferten Produkts dar: CAD-Modelle, dynamische Simulationsmodelle, Stücklisten, Komponentenspezifikationen, technischen und funktionalen Anforderungen, Kosten- und Preisinformationen, Beschaffungsinformationen, Qualifizierungs- und Prüfspezifikationen etc.

Der **Production Digital Twin** enthält alle Daten zu Produktionsstätten und den benötigten Produktionsprozessen (Design for Manufacturing, Design for Testability, Design for Assembly, in Bezug auf die benötigte bzw. vorhandene technische Werksausstattung, Daten für die Fabrikplanung, Anlagen und Maschinen, Werkzeuge, Produktions- und Prüfprogramme etc.)

Der **Performance Digital Twin** enthält alle Daten, die beim Einsatz des Produkts entstehen. Hierzu gehören Leistungsdaten und Betriebszustände. Je nach Nachweispflicht (Traceability) werden u. a. folgende Daten aufgezeichnet:

- Herstell- bzw. Produktionsdaten
- eingesetzte Materialchargen
- Maschinen- und Prozessdaten
- Performancedaten der Produktionsstätte
- Lieferzeiten
- Qualitätsdaten etc.

Diese Daten können u. a. genutzt werden, zum Erkennen von Mustern, Trends in den Prozess- oder Qualitätsdaten zur konsequenten Fehlervermeidung, für Predictive-Maintenance-Szenarien oder das Nutzen dieser Daten zur Ableitung von Erkenntnissen für die optimierte Entwicklung von Nachfolgeprodukten.

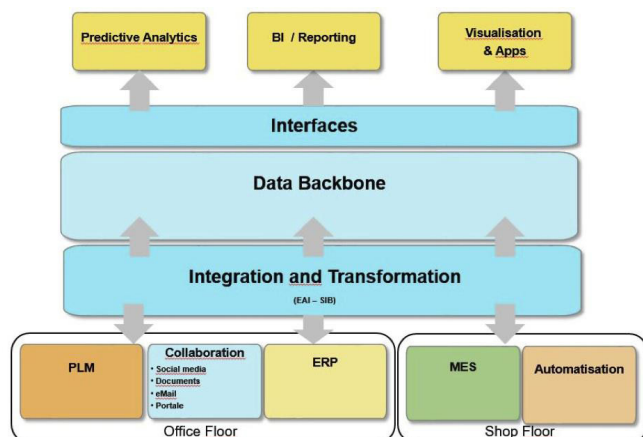
# Hands-on: Was andere bereits erfolgreich vorgemacht haben

Praxiserfahrungen erleichtern den Transfer in den eigenen Betrieb

## DRÄXLMAIER Group: Data Backbone

DR.-ING. HELMUT MEITNER, DRÄXLMAIER GROUP

Der menschliche Körper benötigt ein Rückgrat, damit der Körper Halt hat und die Nervenzellen im gesamten Organismus versorgt werden können. Analog dazu ist es auch für informationstechnische Systeme sinnvoll, einen Data Backbone zu erstellen, über den alle Datenflüsse realisiert werden können.



Data Backbone als Sicht auf alle Datenobjekte

Der Data Backbone ist eine Schicht um alle Datenobjekte, die von anwendungsübergreifendem Interesse sind zu verwalten. Wichtige Eigenschaften sind

- Definition eines eindeutigen Bezeichners für das Datenobjekt
- Definition einer konsistenten Semantik
- Definition des Daten-Eigentümers mit „Single-Source“-Prinzip
- Wissen über Sender und Empfänger eines Datenobjektes.

Data Backbone

- ermöglicht integrierte Datenflüsse
- stellt Information im gesamten Produktlebenszyklus zur Verfügung

- zeigt Beziehungen zwischen Datenobjekten auf und ermöglicht eine Rückverfolgbarkeit
- sorgt für Standardisierung und Wiederverwendbarkeit von Datenobjekten
- stellt technische Schnittstellen zur Integration von Systemen bzw. Applikationen zur Verfügung
- sichert die Datenobjekte vor illegalem Zugriff im Sinne der Informationssicherheit ab.

In einer Negativabgrenzung lässt sich sagen, dass der Data Backbone keine einzelne Datenbank ist; nicht alle Datenobjekte selbst speichern muss, sondern auch Referenzen zu anderen Datenbanken oder synchronisierte Kopien von Applikationsdaten enthalten kann. Ein wichtiger Grund für die Umsetzung des Data Backbones ist der digitale Zwilling.

# Phoenix Contact GmbH & Co. KG: digitaler Zwilling eines Safety Relais

**CHRISTOF GEBHARDT, CADFEM GMBH**

Die Lebensdauer eines Relais ist von verschiedenen Einsatzbedingungen abhängig. Die Größe der geschalteten Last, die Schalthäufigkeit und -dauer sowie die Umgebungstemperatur sind einige typische Einflussgrößen. Sie definieren u. a. die im Lichtbogen anfallende Verlustleistung, die Temperatur der Kontakte und deren Verschleiß.

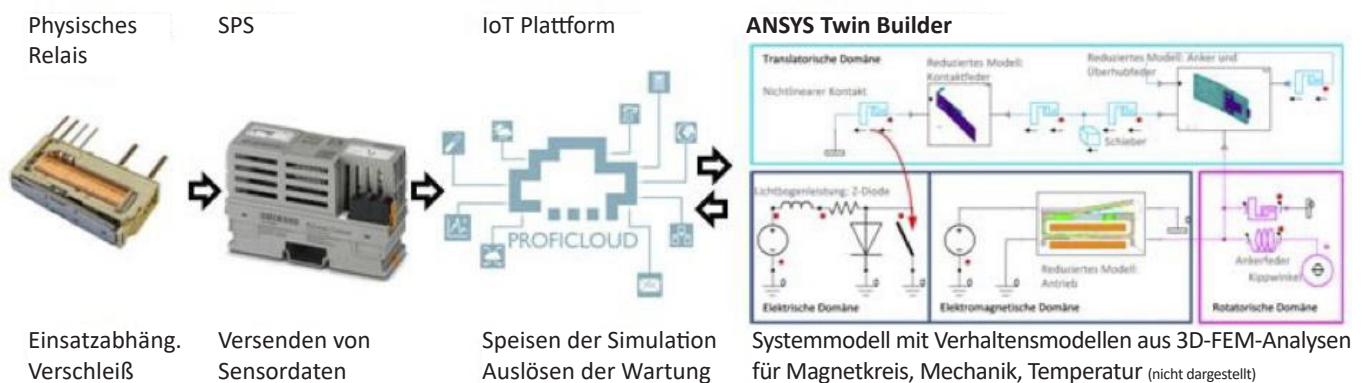
In sicherheitskritischen Anwendungen kommen spezielle Relais mit zwangsgeführten Kontakten zum Einsatz, die aufgrund ihres Aufbaus und der zugehörigen Schaltung einen Fehlerzustand sicher anzeigen können, allerdings erst mit dem Eintreten des Versagens.

Um bereits vor dem eigentlichen Versagen den Ausfall zu prognostizieren, soll ein Simulationsmodell, das mit realen Lastdaten gespeist wird, den realen Relais-Zustand wiedergeben und so eine prädiktive Wartung ermöglichen.

Um das Schaltverhalten des Relais während des Betriebs zu simulieren, wird ein performantes Simulationsmodell mit adäquater Realitätstreue benötigt. Detaillierte FEM-Simulationen für den Magnetkreis, Temperatur und Mechanik werden als Verhaltensmodelle (Reduced Order Models, ROMs) in einem System Simulator mit konzentrierten Elementen für die Kinematik und die Schaltung kombiniert.

Während des Betriebs werden im realen Relais erfasste Sensordaten über ein Netzwerk an eine cloudbasierte IoT-Plattform gesendet. Diese speist das Simulationsmodell damit, wertet automatisiert die Ergebnisse aus und stellt die verbleibenden Schaltzyklen dar.

Der digitale Zwilling ermöglicht es, lebensdauerrelevante Produkteigenschaften zu bewerten, die reale Sensoren kaum messen können. Anhand der detaillierten Simulationsergebnisse – hier die Kontakttemperatur und Lichtbogenenergie – lassen sich der reale Verschleißzustand und die verbleibende Lebensdauer individuell bewerten.



Digitaler Zwilling eines Safety Relais

Quelle: Phoenix Contact/CADFEM

## KRONES AG: Engineering Backbone

NELE OLDENBURG und MICHAEL RUSS, KRONES AG

Ein praktisches Beispiel für den Einsatz digitaler Tools ist der sogenannte „Engineering Backbone“ im Anlagenbau der KRONES AG. Dabei handelt es sich um eine digitale Engineering-Plattform, die innovative Geschäftsabläufe von der Angebotsbearbeitung bis zum erfolgreichen Abschluss der Auftragsabwicklung unterstützen soll.

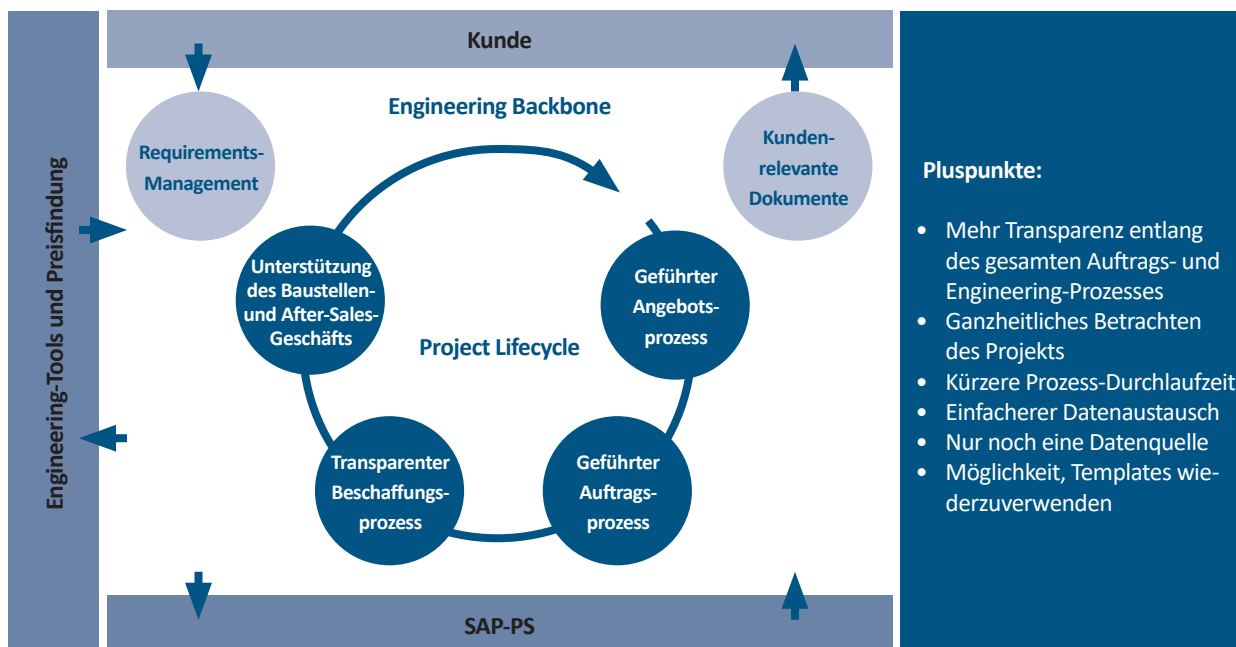
Durch die Nutzung der Plattform werden die technologischen Möglichkeiten der Industrie 4.0 und Digitalisierung umfassend genutzt. Dabei stehen Datendurchgängigkeit zur zentralen Verwaltung und Steuerung sämtlicher projektspezifischer Anlagendaten und zentrales Datenmanagement im Vordergrund. Somit können die Einbindung verschiedener Fertigungs- und Engineering-Standorte sowie die Integration externer Partner und Subkontraktoren erfolgen.

Eine weitere Zielsetzung ist die vertikale und horizontale Datenintegration für vernetzten und disziplinübergreifenden Zugriff auf alle angebots- und abwicklungsrelevanten Unterlagen („Single Source of Truth“). Eine systemgestützte Termin- und Workflowsteuerung im Engineering soll den effizienten Prozessablauf sicherstellen. Somit kann eine Performance-Steigerung durch systemseitige Unterstützung bei der Strukturierung

wichtiger Abläufe erreicht werden. Dazu zählen beispielsweise eine Reduzierung der Durchlaufzeiten sowie die Qualitätserhöhung durch eine verbesserte Schnittstellenkoordination.

Zu den Nutzenpotenzialen der digitalen Engineering-Plattform zählen die Effizienzsteigerung durch transparentes Projektmanagement sowie die Verringerung von Schnittstellen durch einen vereinfachten Datenaustausch. Durch die erhöhte Transparenz soll außerdem eine Steigerung der Qualität u. a. im Engineering-Prozess erreicht werden.

Zentrale Zielsetzung für das gesamte Vorhaben ist die Sicherung der Zukunftsfähigkeit des Fabrik- und Anlagenbaus der KRONES AG. Durch die Entwicklung einer Krones-spezifischen Engineering-Plattform soll der Fabrik- und Anlagenbau den Anforderungen im digitalen Zeitalter gerecht werden und langfristig wettbewerbsfähig bleiben.



Entwickeltes Big Picture für den Engineering Backbone der KRONES AG

# ARMBRUSTER GmbH: Durchgängigkeit beim Datenaustausch durch den digitalen Werkzeugzwilling

**CHRISTIAN ERLINGER, COSCOM COMPUTER GMBH**

Armbruster fertigt Präzisionsteile für den medizintechnischen Bereich sowie Komponenten für die Luft- und Raumfahrt. Für die Herstellung der Artikel auf CNC-Werkzeugmaschinen kommen vielfältige, anspruchsvolle Dreh- und Fräswerkzeuge zum Einsatz.

Innovation, Qualifikation, Teamgedanke sowie die stete Optimierung von Prozessen und Abläufen sind seit Beginn fester Bestandteil der Unternehmensstrategie von Armbruster und so wurde das Projekt „durchgängige Datenprozesse in der Fertigung“ ins Leben gerufen. Zielsetzungen waren einerseits, die Prozess-durchgängigkeit über diverse IT-Systeme zu erreichen und andererseits, Daten automatisiert an den „Points of Interest“ zur Verfügung zu stellen, ohne Daten doppelt in Systemen vorzuhalten und mehrfach zu pflegen.

Die im Einsatz befindlichen IT-Tools im Shopfloor, wie die Werkzeugvermessung oder die Werkzeugverwaltung mittels digital unterstützter Werkzeuglagersysteme, funktionieren in sich als Inselösungen gut. Jedoch waren durchgängige oder gar kooperative Prozesse vom ERP-System über Wertschöpfungsketten bis in die Fertigung hinein aufgrund zahlreicher Medienbrüche nicht möglich. Mit der neuen Sichtweise, die Komplettwerkzeuge in den Mittelpunkt der Prozessbetrachtung zu stellen und die am Gesamtprozess beteiligten IT-Systeme zu vernetzen, ist die Integration aller Insel-lösungen gelungen.

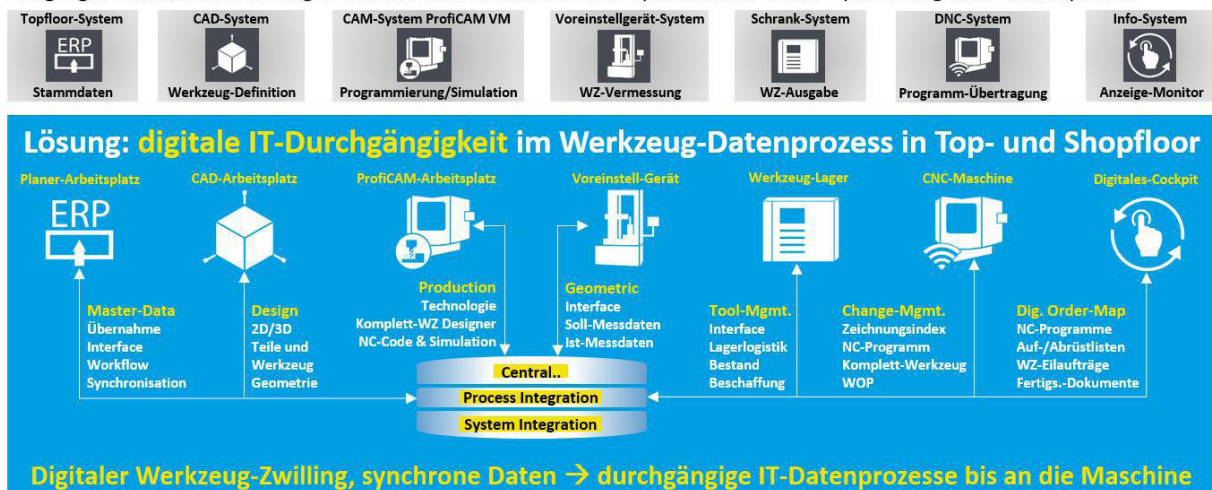
Entstanden ist der „digitale Werkzeugzwilling“ als Abbild des realen Komplettwerkzeugs, dessen Daten nun bedarfsgerecht von allen Prozessnutzern, wie ERP-, CAD-, CAM-Anwender, Werkzeugausgabe- und Werkzeugvermessung bis hin an der CNC-Maschine zur Verfügung stehen. Im Maschinen-Cockpit liegen somit fertigungsrelevante Informationen zum Auftrag strukturiert für den Bediener vor und im Dialogmodus können Prozesse wie z. B. die Anforderung zu Werkzeugeilaufträgen angestoßen werden.

In einem umfassenden Werkzeugkreislauf sind neben dem Lebenszyklus von Komplettwerkzeugen auch die Lagerlogistik-, Nacharbeit- sowie Beschaffungsprozesse integriert.

Das Projekt war möglich aufgrund der Implementierung einer IT-Prozessplattform, die aus Sicht der Belange der Fertigung agiert, eine einheitliche IT-Datenbasis gewährleistet und mittels einer offenen IT-Systemarchitektur beteiligte IT-Systeme in den Datenprozess integriert.

Quelle: ARMBRUSTER 2019

**Ausgangs-Situation:** Insel-Lösungen und Medienbrüche zwischen IT-Systemen verhindern Optimierungen im Gesamtprozess





## HEITEC: Reale Inbetriebnahme am digitalen Modell

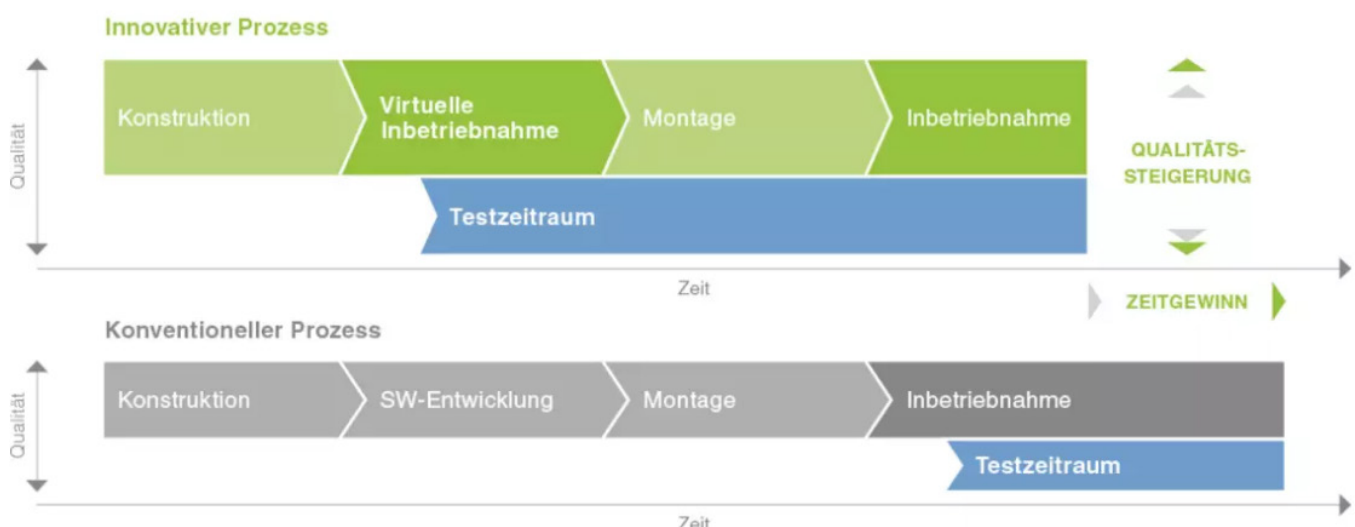
**DR.-ING. ARNOLD HERP, HEITEC AG**

Mit HeiVM wurde in den letzten zehn Jahren ein Entwicklungswerkzeug und Baukastensystem geschaffen, um schneller Maschinen und Anlagen virtuell in ihrer Kinematik und Schnittstellen objektorientiert aufbauen zu können. Ein entscheidender Faktor dabei ist, dass sich die virtuellen Modelle bezüglich Kinematik und Schnittstellen identisch verhalten wie ihre physikalischen Partner. Der erste Schritt, um eine Werkzeugmaschine tatsächlich 1:1 abzubilden, beginnt bei der Software. Der von HEITEC eigens entwickelte HeiVM-Baukasten besteht aus Technologieobjekten, die mit Softwaretools verschiedener Systemanbieter wie z. B. Plant Simulation, Process Simulate oder MCD von Siemens, Vincent vom Fraunhofer Institut, Virtuos von ISG Industrielle Steuerungstechnik und die 3D-Simulationssoftware von machineering betrieben werden können. Dabei steht jedoch nicht das jeweilige Tool im Vordergrund, sondern vielmehr die Funktion der Anlage. Der Maschinen- und Anlagenbauer stellt die entsprechenden CAD-Daten zur Verfügung und liefert die Schaltpläne dazu. Im Rahmen der Modellentwicklung werden diese so aufbereitet, dass das entstehende virtuelle Modell mit der realen SPS angesteuert werden kann. Zum Modellieren der Prozesse nutzt HEITEC eine umfangreiche Bibliothek an virtuellen Komponenten, angefangen von Robotern, Pressen, Förderbändern über Automatisierungssysteme bis hin zu Sensoren und Aktuatoren. Die Bibliotheken wurden teilweise vom Hersteller geliefert, die meisten wurden selbst entwickelt. Der Fundus wächst von Maschine zu Maschine. Die virtuelle Anlage wird von der realen Steuerung

angesteuert und funktioniert nach dem Hardware-in-the-Loop-Prinzip. Wenn beispielsweise ein Roboter benötigt wird, kann er direkt in das System eingebunden werden. Eine Besonderheit dieses Konzepts der realen Inbetriebnahme am virtuellen Modell ist, dass die Original-Automatisierungssoftware zum Einsatz kommt und außerdem die Betriebsabläufe in Echtzeit abgebildet werden. Mit dem Baukastensystem lassen sich Automatisierungskonzepte testen und Prozessabläufe optimieren, bevor die reale Anlage steht. Der Process Owner kann ihn aber auch für eine frühzeitige digitale Planung nutzen, wenn ihm die virtuellen Modelle und die erforderlichen Technologieobjekte zur Verfügung gestellt werden. Kürzere Inbetriebnahme, höhere Produktivität durch die Erstellung eines digitalen Modells bereits während Planung einer Anlage vermeiden Konstruktionsfehler, die später kostspielig ausgebessert werden müssten. Gerade bei Neuentwicklungen, Serien- oder Sondermaschinen kann die Qualität der Anlagenprojektierung erhöht werden und reduziert somit das Risiko von Stillstandzeiten. Bei Anlagenerweiterungen oder Retrofit kann die Anlage vor der Inbetriebnahme am digitalen Modell getestet werden. Das Parallelisieren der Prozesse minimiert die Projektlaufzeit und damit die Umrüstzeiten erheblich. Dazu trägt bei, dass zugesagte Termine leichter gehalten werden können. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass sich durch virtuelles Engineering die Inbetriebnahme

*Qualitätssteigerung und Zeitgewinn bei der Installation einer Anlage*

*Quelle: HEITEC 2019*



me um bis zu 80 % verkürzt und die Projektdurchlaufzeiten um bis zu 15 %. Mit HeiVM sparen die Kunden außerdem Kosten durch eine Steigerung der Produktivität am virtuellen Modell. Zum einen lassen sich durch das Testen der Prozessabläufe Anlagenstillstände vermeiden. Zum anderen können Produktionsdaten im virtuellen Modell digital ausgewertet werden und es lassen sich Optimierungen vornehmen. Außerdem ist für eine störungsfreie Produktion gesorgt, da die Software bereits am realen Anlagenlayout und den realen Abläufen qualifiziert wird. Nicht zuletzt ermöglicht eine Schulung am virtuellen Modell auch eine schnellere und einfachere Einarbeitung der Mitarbeiter.

**Praxisbeispiele.** Bei der Erweiterung einer Montagelinie eines renommierten Automobilherstellers konnte mit HeiVM die Umrüstzeit signifikant verkürzt werden. Auf der Montagelinie sollen künftig parallel 4-Zylinder- und 6-Zylindermotoren produziert werden. Im virtuellen Modell der Anlage lassen sich alle Szenarien durchspielen, die für den Umbau relevant sind, um zu einem optimalen Ergebnis zu kommen, z. B. ob die vorgesehenen Pufferstrecken für die Motoren ausreichen oder ob der Roboter die Greifbewegungen präzise genug ausführt. Auch die wichtigen Schnittstellentests – ob die Übergabe von einer Station zur nächsten und damit die Datenübergabe von einer Steuerung zur nächsten funktioniert – lassen sich vorab testen. Ist alles überprüft, wird die Programmierung am virtuellen Modell erstellt und in kürzester Zeit – bestenfalls am Wochenende – erfolgt dann die reale Inbetriebnahme. So lässt sich der durch den Umbau bedingte Produktionsausfall so gering wie möglich halten.

Bei einer modernen Etikettieranlage mit einem Durchsatz von 1200 Glasflaschen pro Minute wurde die Inbetriebnahmezeit mit HeiVM auf vier Wochen verkürzt. Normalerweise dauert es Monate, bis so eine Anlage reibungslos läuft. Bereits in der Konzeptionsphase wurde die Anlage als digitales Modell ins Büro geholt, optimiert und schließlich virtuell in Betrieb genommen. Durch die Detailtreue des Modells war eine hochpräzise Projektierung der Antriebe möglich, sodass realer Glasbruch vermieden werden konnte. Anschließend konnten anhand des digitalen Zwillings die Abläufe und das Zusammenspiel der Antriebe in Echtzeit getestet und Fehler simuliert werden. Neben der Zeitersparnis ließ sich so ein kostspieliges Scherbendesaster vermeiden.

## Danksagung

Z.DB | Zentrum für Digitalisierung.Bayern  
Arbeitskreis „Digital Engineering“  
dankt dem Engagement folgender ausgewiesener Experten:



**Michele del Mondo**  
PTC GmbH



**Christian Erlinger**  
COSCOM Computer GmbH



**Norbert Finkel**  
dmc-ortim GmbH



**Dr.-Ing. Klaus Funk**  
ZD.B



**Christof Gebhardt**  
CADFEM GmbH



**Dr.-Ing. Arnold Herp**  
HEITEC AG



**Dr.-Ing. Helmut Meitner**  
DRÄXLMAIER Group



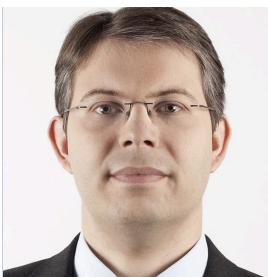
**Nele Oldenburg**  
KRONES AG



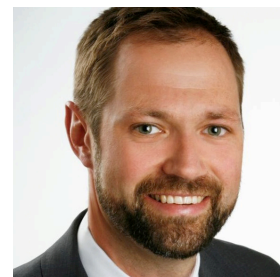
**Dr.-Ing. Dirk Ortloff**  
camLine GmbH



**Michael Probst**  
ISKO engineers AG



**Dr.-Ing. Markus Rickert**  
fortiss



**Michael Russ**  
KRONES AG



**Clemens Schlegel**  
Schlegel Simulations GmbH



**Thomas Trägler**  
Software Factory GmbH



**Dr. Bernhard Valnion**  
d1g1tal AGENDA UG



**Jan Vollmar**  
Siemens AG

Die Bayern Innovativ GmbH ist die Gesellschaft für Innovationen, Technologie- und Wissenstransfer in Bayern. Sie unterstützt Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft in allen Stufen der Wertschöpfungskette mit maßgeschneiderten Dienstleistungen, um ihre Innovationsdynamik zu erhöhen. Bayern Innovativ agiert dabei an den Schnittstellen unterschiedlichster Branchen und Technologien. Ziel ist ein Ökosystem mit dynamischen Netzwerken für einen beschleunigten Innovationsprozess. Einen Fokus der Aktivitäten bildet neben den eigenen Clustern Energietechnik, Automotive und Neue Werkstoffe das „Cross-Clustering“ mit den anderen bayerischen Clustern sowie die Vernetzung mit den anderen wesentlichen Playern in der Innovationslandschaft Bayerns.

[www.bayern-innovativ.de](http://www.bayern-innovativ.de)