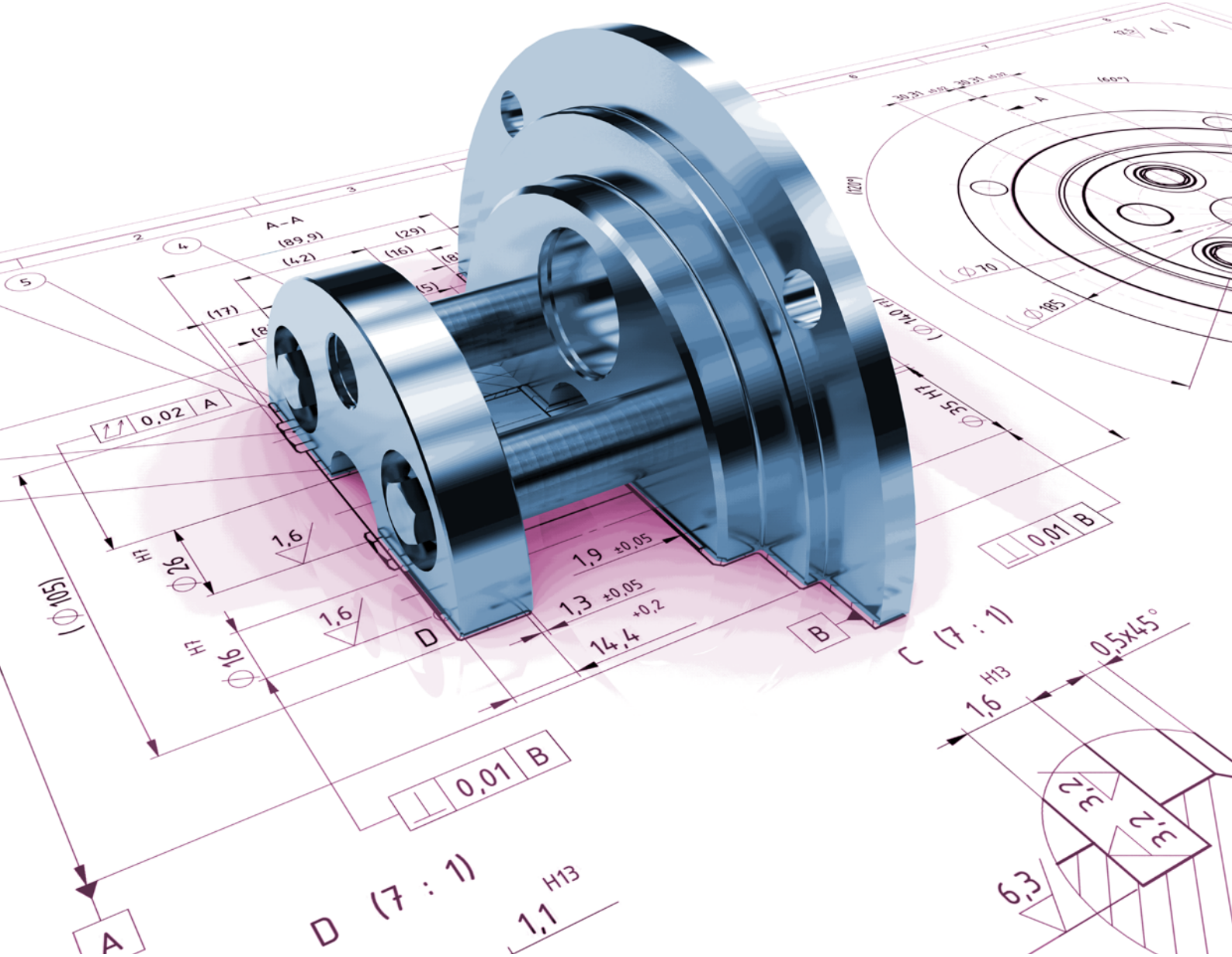
PAiCE



PAiCE-MONITOR

Engineering

Impressum

Herausgeber
Begleitforschung PAiCE
iit – Institut für Innovation und Technik in der
VDI / VDE Innovation + Technik GmbH
Peter Gabriel
Steinplatz 1
10623 Berlin
gabriel@iit-berlin.de
www.paice.de

Autoren
Dr. Tom Kraus
Dr. Matthias Künze

Gestaltung
Loesch*Hund*Liepold Kommunikation GmbH
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin
paice@lhlk.de

Bildnachweis
pavlodargmxnet – stock.adobe.com (Titel, S. 4)

Stand
Mai 2021

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

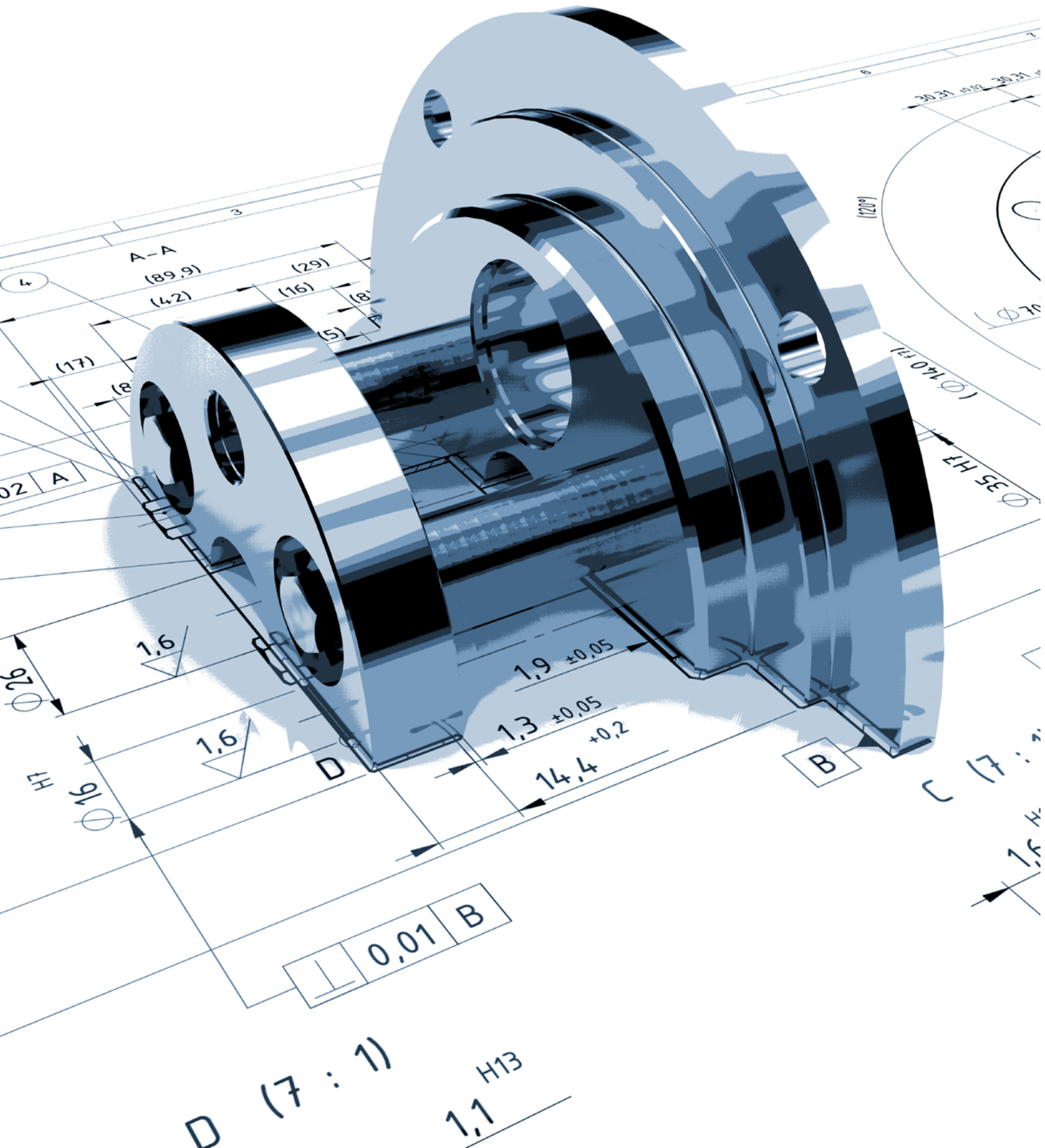
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Einleitung **5**

1 Marktanalyse **6**
2 Start-up-Umfeld **8**
3 Stand der Technik **11**
4 FuE-Entwicklung **13**
5 Projekte des Clusters Engineering **17**
DEVEKOS – Durchgängiges Engineering für sichere, verteilte und kommunizierende Mehrkomponentensysteme 18
EMuDig 4.0 – Effizienzschub in der Massivumformung durch Integration digitaler Technologien im Engineering der gesamten Wertschöpfungskette 20
INTEGRATE – Offene Plattform für kooperatives Engineering 22
VariKa – Vernetztes Produkt- und Produktions-Engineering am Beispiel variantenreicher Fahrzeugkarosserien 24

Ansprechpartner bei Projektträger und Begleitforschung **26**



1 Einleitung

Der Wandel hin zu den digitalen und vernetzten Produktionssystemen schließt eine Veränderung des Engineerings mit ein. Die für das Engineering der Zukunft[1] vor einigen Jahren vorhergesagten technischen, methodischen und juristischen Entwicklungen sind gegenwärtig in der Erforschung oder werden bereits in praktischen Anwendungen implementiert. Dabei ist ein eher heterogener Umsetzungsgrad zu konstatieren: Viele Anbieter adressieren anstelle einer komplett durchgängigen Lösung jeweils nur die Teilbereiche, die für sie wirtschaftlich attraktiv sind.

Dem steht die bereits heute stark arbeitsteilige Fertigung und die damit verbundene wachsende Komplexität von Systemen (Integration vieler unterschiedlicher Zulieferteile) entgegen, die sich zunehmend in unternehmensübergreifenden Engineering-Prozessen spiegelt. Das Agieren über den eigenen Tellerrand hinaus ermöglicht im Engineering nicht nur stärkere Spezialisierungen, sondern auch kürzere Entwurfszeiten sowie ein abgestimmtes Ineinandergreifen von unterschiedlichen Fachgebieten im Engineering-Prozess (z.B. Mechanik, Elektronik, Softwaretechnik) und damit effizientere Lösungen. Das kollaborative Engineering stellt hierbei die engste Form der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit dar. Es zeichnet sich aus durch das parallele, gemeinsame Arbeiten von mehreren Akteuren (Ingenieure, Techniker und Informatiker), die in aller Regel über unterschiedliche Unternehmen verteilt sind. Typische Motivation der kollaborierenden Unternehmen ist dabei der Erwerb von Wettbewerbsvorteilen hinsichtlich Innovationsfähigkeit oder Effizienz.[2]

Gerade für langlebige Wirtschaftsgüter findet Engineering aber nicht mehr nur in den frühen Phasen der Wertschöpfung statt. Vielmehr ist es zunehmend ein begleitender Prozess von der Systemintegration über den laufenden Betrieb, Maintenance, Retrofit, Systemumgestaltung bis zum Rückbau.

In Folge der aktuellen COVID-19-Pandemie rückten vor allem die Verkürzung und Härtung von Lieferketten sowie deren stärkere Regionalisierung in den Fokus. Als stark IT-gestützter Teil der Wertschöpfung ist das Engineering von solchen Überlegungen eher indirekt im Sinne der Modifikation von Vorgaben betroffen. Die Erfahrung zeigt, dass physische Produktionsabläufe von Einschränkungen wesentlich stärker betroffen waren als digitale Prozesse.

Die aktuellen Herausforderungen im Engineering-Bereich wurden in vier PAiCE-Projekten adressiert, die in der ersten Hälfte des Jahres 2020 bzw. Ende März 2021 (DEVEKOS) ihre Arbeiten abgeschlossen haben:

- Standards zum Datenaustausch im Engineering: INTEGRATE, DEVEKOS
- Engineering und Daten im prozessübergreifenden Entwurf: VariKa, DEVEKOS
- Engineering und Daten bei Bestandsmaschinen: EMuDig4.0, VariKa

1 Künzel, Matthias; Schulz, Jens; Gabriel, Peter: Engineering 4.0: Grundzüge eines Zukunftsmodells, iit: Berlin 2016. Online verfügbar unter https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/autonomik-engineering%2040.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (zuletzt abgerufen am 16.07.2020).

2 Künzel, Matthias; Kraus, Tom; Straub, Sebastian: Kollaboratives Engineering – Grundzüge und Herausforderungen der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit beim Engineering von Produkten und begleitenden Services, iit: Berlin 2019. Online verfügbar unter https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2019-04-01-paice-studie-engineering.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (zuletzt abgerufen 16.07.2020).

2 Marktanalyse[3]

In den 1980er-Jahren begann die Entwicklung von rechnergestützten Werkzeugen für einzelne Schritte des Engineerings (Computer-Aided Engineering/CAE). Das Spektrum solcher Tools reicht von der rechnergestützten mechanischen Konstruktion (Computer-Aided Design/CAD) über den Entwurf elektronischer Schaltungen und Bauelemente (Electronic Design Automation/EDA) bis hin zu numerischen Simulationen etwa für Belastungen, Bewegungsabläufe oder thermische Prozesse. Diese Werkzeuge wurden meist von zu dieser Zeit neu gegründeten Software-Entwicklungsunternehmen entwickelt oder von Systemintegratoren, die ihr Produktportfolio erweiterten bzw. abrundeten. Angesichts der Verkürzung von Entwicklungszyklen und der praktizierten Rückführung von realen Betriebsdaten an die Hersteller wird heute der Konstruktionsprozess immer stärker als ein Teil des gesamten Lebenszyklus eines Produkts erachtet. Daher werden Software-Tools zur mechanischen Konstruktion auch immer häufiger dem Product Lifecycle Management/PLM zugerechnet. Weiterhin erstreckt sich der Anwendungsbereich von PLM-Tools über das Produktdatenmanagement/PDM und digitale Planungstools zur Auslegung von Produkt- und Systemverbünden bis hin zum Service und Recycling-Management.

Der globale, branchenübergreifende Markt für PLM-Tools wird in Studien für 2019 auf 19 Mrd. EUR bei 6,9 % jährlichem Wachstum bis 2025[4] bzw. 22 Mrd. EUR bei 6,2 % jährlichem Wachstum bis 2025[5] geschätzt (nach 17 Mrd. EUR[6] für 2018). Auch wenn für Europa – im Gegensatz zu Nordamerika, Asien und Australien – nur ein mittleres Wachstum im mittleren einstelligen Prozentbereich prognostiziert wird, finden sich unter den TOP 5 zwei deutsche Firmen (Siemens AG, SAP SE), zwei US-amerikanische (PTC Inc., autodesk Inc.) sowie eine französische Firma (Dassault Systèmes).

Der aktuelle Weltmarkt für CAE-Tools, als Unterkategorie der PLM-Tools, wird für 2019 mit 6,4 Mrd. EUR und einem Wachstum von mehr als 9 %[7], an anderer Stelle mit 7,5 Mrd. EUR für 2020[8] angegeben. Auch im Vorjahr lagen die Wachstumsprognosen im Bereich von 10 % p. a. Eine weitere Studie[9] kommt mit einem für 2026 prognostizierten Marktvolumen von 12 Mrd. EUR zu einem ähnlichen Ergebnis. Diese Entwicklung wird maßgeblich getrieben durch sich stetig erweiternde technologische Möglichkeiten in den Bereichen der virtuellen Produktentwicklung, des 3D-Drucks und dem modellbasierten Engineering auf Basis von

3 Die nachfolgend genannten Daten stammen aus Veröffentlichungen, die, abhängig vom jeweiligen Redaktionsschluss, in unterschiedlichem Maße die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie berücksichtigten. Erste Analysen weisen auf stark branchenspezifische Auswirkungen hin: Einige sind oder waren zumindest zeitweise erheblich beeinträchtigt, andere Märkte sind weitgehend unbeschadet oder weisen sogar ein Wachstum auf. Hinzu kommen regional stark unterschiedliche Verläufe und Ausprägungen der Pandemie. Bei allen Unterschieden zeichnet sich ein eher von der Pandemie verstärkter Trend zu weiteren Digitalisierung von Abläufen ab, der den Markt positiv beeinflusst. Eine belastbare Bewertung der Folgen der COVID-19-Pandemie auf den hier betrachteten Markt dürfte erst nach deren Abklingen vorliegen, wobei auch dann von erhöhten Prognoseunsicherheiten auszugehen.

4 Mordor Intelligence: Product Lifecycle Management (PLM) Software Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025). Veröffentlichte Zusammenfassung: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/product-lifecycle-management-software-market. Alle Zahlen in der Quelle in USD; Umrechnung mit Wechselkurs zum Zeitpunkt der Recherche (Stand 16.07.2020).

5 Grand View Research: Product Lifecycle Management Market Size, Share & Trends Analysis Report By Software, By Service, By Deployment, By Enterprise Size, By End Use, By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2025. Veröffentlichte Zusammenfassung: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/product-lifecycle-management-market. Alle Zahlen in der Quelle in USD; Umrechnung mit Wechselkurs zum Zeitpunkt der Recherche (Stand 16.07.2020).

6 Quadrant Knowledge Solutions: Market Outlook: Product Lifecycle Management (PLM), 2018-2023, Worldwide; 2018. Online verfügbar unter https://www.ptc.com/en/products/plm/quadrant-knowledge-solutions-report (zuletzt abgerufen am 12.11.2019).

7 Grand View Research: Computer Aided Engineering Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (FEA, CFD, Multibody Dynamics, Optimization & Simulation), By Deployment Model, By End Use, And Segment Forecasts, 2020 – 2027. Veröffentlichte Zusammenfassung: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/computer-aided-engineering-cae-market. Alle Zahlen in der Quelle in USD; Umrechnung mit Wechselkurs zum Zeitpunkt der Recherche (Stand 16.07.2020).

8 statista.de: Prognose zum Marktvolumen von CAD/CAM-Software weltweit in den Jahren 2013 bis 2020. Veröffentlichte Zusammenfassung https://de.statista.com/statistik/daten/studie/161696/umfrage/prognostiziertes-marktvolumen-fuer-cad-cam-software/. Zahlen in der Quelle in USD; Umrechnung mit Wechselkurs zum Zeitpunkt der Recherche (Stand 17.07.2020)

9 Researchandmarkets.com: Global Computer Aided Engineering (CAE) Market Size, Market Share, Application Analysis, Regional Outlook, Growth Trends, Key Players, Competitive Strategies and Forecasts, 2018 To 2026: 2019. Zusammenfassung des Berichts online verfügbar: https://www.researchandmarkets.com/reports/4749564/global-computer-aided-engineering-cae-market (zuletzt abgerufen am 12.11.2019).

digitalen Zwillingen. Die Unternehmen versprechen sich durch die Nutzung etwa Effizienzsteigerungen und die Senkung der Folgekosten von späten Re-Designs oder Rückrufaktionen.

Ein anderer, die Produktionssteuerung betreffender Typ industrieller Software sind Manufacturing Execution Systems/MES, zu Deutsch auch Prozessleitsysteme, die für einen optimalen Betrieb von Anlagen von Bedeutung sind. Dabei setzen MES-Systeme Steuerungsvorgaben um, die in der Regel von einem übergeordneten Ressourcenplanungs-System (Enterprise Resource Planning/ERP) vorgegeben werden. Heute eingesetzte MES-Systeme sind häufig über viele Jahre oder sogar Jahrzehnte inkrementell verbessert worden und müssen aktuell den Sprung zur Verarbeitung größerer Datenmengen von IoT-Sensor-Daten schaffen und diese etwa durch Methoden der künstlichen Intelligenz intelligent nutzen. Zugleich sind diese Systeme oft sehr anwendungsspezifisch, so dass es hier viele Nischenanbieter gibt.

An dieser Stelle wird aus Studien der Einfluss von COVID-19 deutlich. Während ältere Studien z. B. ein Wachstumspotenzial aufgrund der sich erweiternden technologischen Möglichkeiten mehr als 10 % p. a. für den Zeitraum 2019-2025 angeben[10], weisen neue Publikationen[11] mit explizitem Verweis auf COVID-19 nur noch eine Wachstumsrate von 4,5 % p. a. aus. Es wird ausgeführt, dass „… Dienstleistungen direkt proportional zu den Fertigungsaktivitäten sind ...“ und damit „… zu einer niedrigeren geschätzten jährlichen Wachstumsrate für 2020 im Vergleich zu 2019 …“ führen.

Insgesamt ist sowohl auf den vorgenannten Teilbereichen wie auch im ERP-Bereich in seiner Klammerfunktion ein eher geringer Monopolisierungsgrad zu verzeichnen; die TOP-5-Anbieter vereinen weniger als 50 % der jeweiligen Marktvolumina. Dieses unterscheidet sich wesentlich von der Situation etwa im Office-Bereich. Sowohl strategische Kooperationen als auch Mergers & Acquisitions werden durch den Trend zu Datendurchgängigkeit und leistungsfähigen, aber komplexen Gesamtlösungen getrieben. Eine Monopolisierung bzw. Oligopolisierung mit wenigen Standardlösungen ist aktuell nicht erkennbar.

Toolanbieter

Das Wachstum der CAE-Anbieter wird durch breitere Anwendungen und vor allem die Digitalisierung getrieben. Noch mehr als die Digitalisierung treiben differenzierende Features den Markt: Digitale Zwillinge ermöglichen es, Entwürfe zu testen und zu modellieren, bevor sie gebaut werden und sie im späteren Produktlebenszyklus zu nutzen. Zudem spielen neue, managementorientierte Fähigkeiten eine wichtige Rolle: Etwa die Zerlegung komplexer Engineering-Aufgaben zur parallelen Bearbeitung und die laufende Synchronisation des Entwurfsfortschritts zur Nachverfolgung der Konsistenz der Schnittstellen.

Die großen CAE-Kunden in der Automobil- und Luftfahrtindustrie sowie dem Maschinen- und Anlagenbau setzen meist Systemdesignlösungen ein. Die jeweiligen OEMs entscheiden sich in der Regel für integrierte Produkte eines Anbieters. Gleichzeitig zwingen sie ihre Lieferanten, dafür zu sorgen, dass CAE-Software verschiedener Unternehmen zusammenarbeitet. Neben diesen Hauptmärkten gibt es eine Vielzahl spezialisierter Märkte für erfolgreiche Nischenanbieter.

10 IndustryARC: Manufacturing Execution System (MES) Market: By Offering; By Deployment Type; By Industry; & By Geography – Forecast (2019-2025); 2019. Zusammenfassung des Berichts online verfügbar: https://www.industryarc.com/Report/15573/manufacturing-execution-system-mes-market.html (zuletzt abgerufen am 12.11.2019).

11 Manufacturing Execution System Market with COVID-19 Impact by Offering (Software, Services), Deployment (On-premises, On-demand, Hybrid), Process Industry (Food & Beverages, Pharmaceuticals & Life Sciences), Discrete Industry, Geography - Global Forecast to 2025; 2020. Zusammenfassung des Berichts online verfügbar unter: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/manufacturing-execution-systems-mes-market-536.html (zuletzt abgerufen am 28.08.2020).

Auffällig ist auch hier eine Absenkung der Wachstumsprognosen bei neueren Studien, die COVID-19-Einflüsse berücksichtigten. In der Studie „The Worldwide CAD Report 2020“[12] ist etwa von „einer gesunden Wachstumsrate von mehr als 2,4 % p. a. im Prognosezeitraum 2018-2022 …“ die Rede. Eine andere Studie nennen eine „gesunde Wachstumsrate“ von knapp 6 % bis 2025.[13]

Es gibt weder im CAD-Bereich noch in den anderen CAE-Feldern tatsächlich dominierende Anbieter. Neben je etwa einer Handvoll großer Player, deren Lösungen in scharfem Wettbewerb untereinander stehen, gibt es eine Vielzahl kleinerer Anbieter, die sich häufig auf bestimmte Anwendungen konzentrieren und hier entsprechende Alleinstellungsmerkmale aufweisen können. Auffällig ist das bestehende Regionen-Duopol Europa-Nordamerika, wobei die Akteure überwiegend in den USA bzw. in Deutschland oder Frankreich konzentriert sind. Asiatische Anbieter spielen faktisch keine Rolle. Die Ursache dafür dürfte in der Genese dieser Software liegen. Ihre Grundlagen wurden i.d.R. vor mehr als 20 Jahren in einer Zeit geschaffen, in der Asiens Rolle noch sehr stark die einer verlängerten Werkbank war. Dazu kommt ein enger Austausch zwischen Engineering-Software-Anbietern und ausgewählten Lead-Usern (Automotive-OEM, große Maschinen- und Anlagenbauunternehmen) als Treiber von Prozessinnovationen im Engineering. Deren Managements und die wichtigen (System-) Entwicklungsabteilungen sind noch in hohem Maße in den klassischen Industriestaaten konzentriert. Hinzu kommt ein log-in-Effekt über die Ausbildung: Universitäten erhalten üblicherweise sehr preiswerte Lehrlizenzen.

Die meisten heutigen Engineering-Toolanbieter haben sich in einzelnen Anwendungsfeldern entwickelt. Beispielhaft seien hier für die mechanische Konstruktion (CAD) die wichtigsten Toolanbieter und deren Marktanteil (MA) in 2016[14] genannt: Autodesk (MA: 29 Prozent, u. a. AutoCAD), Dassault Systèmes (MA: 23 Prozent, u. a. Catia, SolidWorks), Siemens (MA: 12 Prozent, u.a. Solid Edge) und PTC (MA: 9 Prozent, u. a. Creo). Auch wenn diese Zahlen schon einige Jahre alt sind, sind sie nach wie vor relevant: Die Marktstruktur war in den letzten Jahren eher statisch, da der Wechsel eines CAE-Systems für den betreffenden Anwender hohe Migrationskosten nach sich zieht. Dieses kann sich aber durch qualitativ neuartige Lösungen mit deutlich erweiterten Funktionalitäten, etwa im Kontext des digitalen Zwillings, zukünftig anders gestalten.

Alle genannten Software-Systeme stammen ursprünglich aus dem Anwendungsbereich Maschinen- und Fahrzeugbau. Sie unterscheiden sich durch den Umfang ihrer 3D-Fähigkeit, die Anbindung von Simulationsmöglichkeiten, die Integration in Gesamtpakete sowie die verfügbaren Schnittstellen. Zugleich haben alle genannten Toolanbieter auch das Produktdatenmanagement bzw. Product Life Cycle Management im Portfolio.

12 Jon Peddie Research: The Worldwide CAD Report 2020; Januar 2020. frei zugängliche Zusammenfassung im Internet: https://www.researchandmarkets.com/reports/4921132/2020-cad-report?utm_source=dynamic&utm_medium=CI&utm_code=9kml4h&utm_campaign=1398736+-+2020+Global+CAD+Market+Report%3a+New+Players+and+Broader+Applications+are+Enabling+Strong+Growth+in+the+CAD+Industry&utm_exec=cari18cid (zuletzt abgerufen: 28.08.2020).

13 Market Study Report: Computer Aided Design CAD Market Share Analysis and Research Report by 2026; August 2020. . frei zugängliche Zusammenfassung im Internet: https://www.express-journal.com/computer-aided-design-cad-market-180439/ (zuletzt nachgeschlagen am 28.08.2020).

14 Jon Peddie Research, Business Advantage: Computer-aided design (CAD) market revenue share worldwide, in 2016, by vendor; 2017. Marktanteile online verfügbar unter https://www.statista.com/statistics/779090/worldwide-cad-market-revenue-share/ (zuletzt abgerufen am 06.11.2019).

Engineering-Dienstleister

Grundsätzlicher Treiber für die Externalisierung von Engineering-Dienstleistungen ist eine stärkere Ausdifferenzierung des Wertschöpfungsprozesses. Dazu gehört die effektive Nutzung von Spezialsoftware sowie das zunehmende Outsourcing bei großen Unternehmen (beispielhaft für die letztgenannte Entwicklung ist die Automobilindustrie). Dabei ist gerade in der Automobilindustrie eine zunehmende Verflechtung zwischen OEMs und Engineering-Dienstleistern zu beobachten, die nicht zuletzt mit der Vergabe immer größerer Module einhergeht. Der Prozess wurde getrieben von der Globalisierung der OEM, der Talentknappheit in deren Heimatmärkten, kürzeren Entwicklungszyklen und niedrigeren Kosten. Hinzu tritt eine Automatisierung einfacher Tätigkeiten. Dieser Markt hat in den letzten Jahrzehnten eine sehr dynamische Entwicklung genommen, nicht zuletzt durch den Wandel der Aufgaben. Immer häufiger spielen die Integration digitaler Technologien in die Produkte und damit einhergehende neue Geschäftsmodelle eine Schlüsselrolle.

Die publizierten Marktzahlen für Engineering-Dienstleistungen weisen erhebliche Differenzen auf. Zurückzuführen ist das auf unterschiedliche Abgrenzungen, etwa, in welchem Umfang FuE-Aufträge berücksichtigt werden und in welchem Umfang Software-Engineering einbezogen wird. Beispielsweise wurde die Größe des globalen Marktes für Ingenieurdienstleistungen für 2019[15] auf etwa 270 Mrd. EUR[16] geschätzt. Andere Quellen nennen Zahlen nahe 1.000 Mrd. EUR.

Ein aktuelles Ranking der größten Engineering-Dienstleister für die Automobilindustrie – diese Branche umfasst mit Abstand den größten Marktanteil des gesamten Engineering-Geschäfts – nennt folgende Daten für die TOP 5[17]:

- AVL List (Hauptsitz: Graz) mit 1.970,0 Millionen Euro Jahresumsatz (Vorjahr 1.750,0)
- IAV (Hauptsitz: Berlin) mit 1.001,7 Millionen Euro (Vorjahr 907,0)
- Bertrandt (Hauptsitz: Ehningen bei Stuttgart) mit 950,0 Millionen Euro (Vorjahr 1.021,0)
- Edag Engineering (formaler Hauptsitz in der Schweiz) mit 781,0 Millionen Euro (Vorjahr 792,3)
- FEV-Gruppe (Schwerpunkt: Aachen) mit 698,3 Millionen Euro (Vorjahr 621,3)

Insgesamt ist dieser Markt uneinheitlich strukturiert. Auf der einen Seite stehen Systemdienstleister mit mehreren tausend Mitarbeitenden, wie bei den vorgenannten Unternehmen. Am anderen Ende der Skala befinden sich kleinere Ingenieurbüros und Einzelunternehmer. Eine Konsolidierung dieses Marktes ist absehbar, vor allem durch den Willen großer Auftraggeber zur Reduzierung der Zahl der Dienstleister und der Vergabe immer größerer Aufgabenpakete. Dieses dürfte weniger kleinere Akteure betreffen, die entweder hochspezialisiert sind oder primär für kleinere Unternehmen arbeiten (typische Nischenakteure), als vielmehr mittelgroße Anbieter. Welche Auswirkung COVID-19 auf diese Entwicklung hat, lässt sich aktuell noch nicht beurteilen.

15 Engineering Services Outsourcing Market Size, Share & Trends Analysis Report By Service (Designing, Prototyping, System Integration, Testing), By Location, By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027. Frei zugängliche Zusammenfassung unter: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/engineering-services-outsourcing-market (zuletzt nachgeschlagen: 04.09.2020).

16 Originalzahl in USD, Umrechnung nach Tageskurs.

17 Bewegung in der ATZ-Top-10 der Engineering-Dienstleister 2020 (26.05.2020); https://www.springerprofessional.de/unternehmen--institutionen/produktentwicklung/bewegung-in-der-atz-top-10-der-engineering-dienstleister-2020/18004688 (zuletzt nachgeschlagen 05.09.2020).

3 Start-up-Umfeld

Viele der heute etablierten sektorspezifischen Engineering-Werkzeuge haben einen langfristigen Entwicklungsprozess durchlaufen. In diversen Bereichen des Engineerings sind jahre- oder sogar jahrzehntelange Erfahrungen und Kompetenzen durch die betreffenden Anbieter aufgebaut worden, die von neugegründeten Unternehmen kaum aufzuholen sind. Ganz anders stellt sich die Situation bei Lösungen dar, die etablierte Engineering-Fähigkeiten dank neuer technologischer Möglichkeiten sinnvoll ergänzen. Beispiele sind intelligente, vernetzte Lösungen für vorausschauende Wartung oder auch neue Möglichkeiten zur Virtualisierung oder Mensch-Maschine-Kollaboration in der digitalen, vernetzten Fabrik.

Investitionstätigkeit

Um regionale Schwerpunkte bei Investitionen in Start-ups zu erkennen, wurde die gleichnamige Datenbank des Wirtschaftsdienstes Crunchbase analysiert, die eine umfangreiche Sammlung weltweiter Investitionen und Risikokapitalbeteiligungen bereitstellt[18].

Um eine statisch belastbare Menge an Datensätzen analysieren zu können, wurden alle Start-ups und jungen Unternehmen betrachtet, die nach dem 01.01.2010 gegründet wurden, und es wurden alle Investitionen zwischen dem 01.01.2015 und Ende 2020 berücksichtigt. Die so ausgewiesene Gesamtsumme beträgt 243 Mio. USD (d. h. ca. 40 Mio. USD pro Jahr, siehe Abbildung 1). Davon lassen sich etwa 10 % Engineering-Dienstleistern zuordnen.

Das Start-up-Geschehen wird von den USA und Europa dominiert: Der mit Abstand höchste Kapitalanteil von knapp 200 Mio. USD entfällt auf die USA, der zweithöchste Anteil von 26 Mio. USD auf Großbritannien. Die Investitionen in der Schweiz gingen alle an das Unternehmen Akselos SA mit Sitz in Lausanne, das vor allem im Bereich Simulationslösungen für funktions- oder sicherheitskritische Bauteile tätig ist.

Anders ist das Verhältnis bei der Zahl der Investment-Runden. Hier entfallen etwa 2/3 auf Europa, der Rest auf Nordamerika. Dieses Verhältnis gilt sowohl hinsichtlich der Investments als auch der Zahl der Firmen.

Der im Verhältnis zu anderen Segmenten der Digitalwirtschaft geringe Fremdkapitel-Zufluss für junge Unternehmen, die Engineering-Software und Dienstleistungen anbieten, und der Fokus auf die USA und Europa lassen sich durch folgende Faktoren erklären:

- Engineering-Software ist aktuell kein Feld für disruptive Innovationen. Diese Erkenntnis korreliert mit den Ergebnissen der PAiCE-Studie zum kollaborativen Engineering[19], in der das aktuelle Nutzungspotenzial von künstlicher Intelligenz auf eng begrenzte Teilgebiete des Engineering-Prozesses eingeschätzt wird. Disruptive Innovationen mit hohem Skalierungspotenzial sind aber besonders attraktiv für Investoren.
- Engineering-Software ist typischerweise ein reines B2B-Produkt mit begrenztem Skalierungspotenzial. Hohe Produktqualität, Modularität und kunden-/branchenspezifische Anpassungen sind typische Eigenschaften und gehen mit langjähriger Kundenbindung einher. Hinzu kommen hohe Migrationskosten bei einem Produktwechsel.
- Der technologische Erfahrungsvorsprung der etablierten Marktakteure und die Beherrschung der hohen Komplexität ist nur in Teilgebieten und mit hohem Investitionsaufwand aufholbar bzw. angreifbar. Hinzu kommen hohe Erwartungen an die Qualität von Engineering-Software(-Tools), die auch von Minimum Viable Products erfüllt werden müssen, um am Markt zu bestehen. Die existierenden großen Engineering-Softwarehäuser kaufen interessante Technologie-Start-ups eher komplett auf, als in diese zu investieren. Auf diese Weise können sie zusätzliche Alleinstellungsmerkmale implementieren.
- Im Unterschied zu den anderen Clustern in PAiCE, Servicerobotik, 3D-Druck, Logistik und industrielle Kommunikation, spielen Investitionen in Asien im Bereich Engineering-Tools und -Dienstleistungen keine Rolle. Das Duopol der Anbieter-Regionen Nordamerika (hier gleichbedeutend mit USA) – Europa korreliert mit der bestehenden, in Kapitel 2 beschriebenen Marktstruktur. Engineering-Start-ups siedeln sich anscheinend am besten im Umfeld der etablierten Hersteller von Engineering-Tools an. Dieses resultiert u. a. aus den gut verfügbaren Schnittstellen zur Erweiterung durch Dritte bei allen gängigen Engineering-Software-Systemen. Dabei ist der Übergang von einer kundenspezifischen Anpassung zu einer universellen bzw. branchenspezifischen Funktionserweiterung fließend. Häufig docken neuartige Engineering-Funktionsmodule an den Schnittstellen zuerst eines Anbieters an und werden später auf weitere Systeme ausgerollt.

18 Suchfilter auf Fallebene (Firmen): („Industrial engineering“ UND „software“ UND “manufacturing“) ODER („Mechanical engineering“ und „software“)

19 Künzel, M.; Kraus, T.; Straub, S.: Kollaboratives Engineering – Grundzüge und Herausforderungen der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit beim Engineering von Produkten und begleitenden Services. Studie der Begleitforschung zum BMWi-Programm PAiCE; Berlin; Februar 2019. Online verfügbar unter https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2019-04-01-paice-studie-engineering.html (zuletzt abgerufen am 12.11.2019).

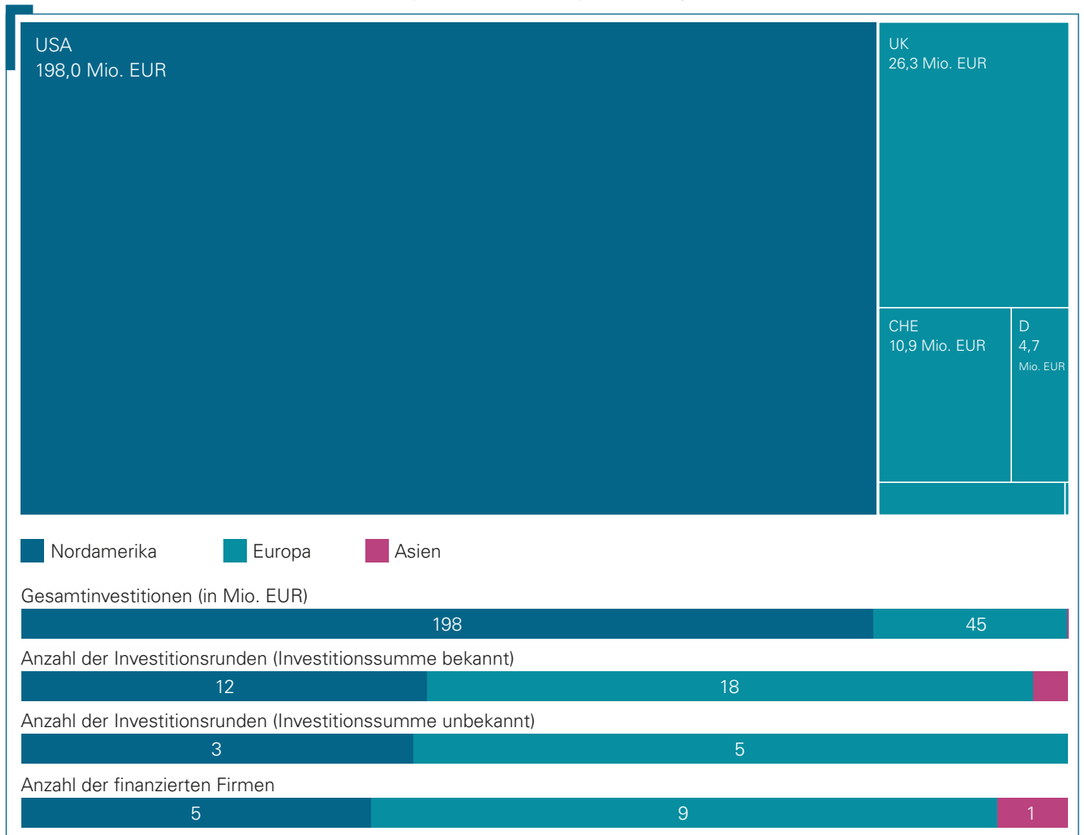


Abbildung 1: Investitionssummen in junge Unternehmen in den Jahren 2015 bis 2020 (eigene Darstellung, Daten aus www.crunchbase.com)

4 Stand der Technik

Die Definition von Engineering und damit einhergehend auch der Stand der Technik sind derzeit im Wandel: Das Phasenmodell mit sequenziellem Vorgehen wird durch eine Systembetrachtung mit simultanem bzw. agilem Vorgehen ersetzt. Bisher wurde Engineering stark von der Produktentstehungsphase geprägt; eine systemische und rückgekoppelte Betrachtung von Produkt, Fertigung, Nutzung sowie damit verbundenen Dienstleistungen wird zunehmend wichtiger. Eine eins-zu-eins-Übernahme der Methoden der agilen Entwicklung aus der Softwarewelt wird in der (zunehmend digitalen) Konzeptionsphase immer üblicher, bedarf aber spezieller Vorgehensweisen, sobald Hardware bzw. Produktionsleistungen in diesen Prozess einbezogen sind.

Digitaler Zwilling

Das Leitbild des digitalen Zwillings hat sich als Bezeichnung für eine durchgängige digitale Beschreibung von Objekten, Anlagen und Systemen durchgesetzt. Die publizierten Definitionen des Begriffs Digitaler Zwilling durchliefen in den letzten Jahren einen Diskurs sowohl auf der wissenschaftlichen Seite wie auch unter Marketingaspekten. Ein Team der TU Berlin hat sich ausführlich mit diesen Definitionen auseinandergesetzt. Dazu erfolgte im Rahmen von vier Forschungsprojekten eine Analyse der Konzeptentwicklung „Digitaler Zwilling", Gespräche mit 140 Expert:innen sowie die Evaluierung von Modellen im Forschungsumfeld. Im Ergebnis wurde ein 8-dimensionales Modell entwickelt, das an dieser Stelle als Stand der Technik antizipiert wird[20]. Dieses virtuelle Abbild enthält nach der allgemeinen Auffassung eine Beschreibung der Elemente und der Dynamik des zugehörigen realen Produktes, Prozesses oder Dienstes sowie relevante Zustandsinformationen über den Lebenszyklus einschließlich der Interaktion mit dem Umfeld. Der digitale Zwilling kann somit die Funktion einer Echtzeit-Repräsentation seines realen Gegenstücks erfüllen, als Speicher relevanter Lebenszyklus-Informationen fungieren oder für Simulationen unterschiedlichster Art eingesetzt werden. Der digitale Zwilling wird daher perspektivisch eine enorm wichtige Rolle in allen Lebenszyklus-Phasen spielen, vom Entwurf über die Inbetriebnahme und den Betrieb bis hin zum Rückbau.

Die individuelle Festlegung, welche Daten mittels digitaler Zwillinge berücksichtigt werden oder welche Prozesse simulierbar sein sollen, wurde ursprünglich nach primär technischen Gesichtspunkten vorgenommen. Unabhängig davon wird auch zukünftig das Engineering wesentlich über den ökonomischen Erfolg von Produkten und Services entscheiden. Jedoch sind die Erfolgskriterien einem Wandel unterworfen: Nicht allein Preis, Qualität und Funktionalität eines Produktes sind die Schlüsselfaktoren. Vielmehr werden zunehmend auch die Voraussetzungen für spätere Geschäftsmodelle im Engineering geschaffen, indem begleitende Services und neuartige Möglichkeiten der Produkterweiterung angelegt werden. Hier hat eine Studie[21] der PAiCE-Begleitforschung mit der Erweiterung des digitalen Zwillings auf nicht-technischen Daten zukünftige Entwicklungspfade aufgezeigt.

20 Stark, R; Fresemann, C.; Lindow, K.: Development and operation of Digital Twins for technical systems and services; CIRP Annals; Volume 68, Issue 1; pp. 129ff. Elsevier, 2019.

21 Künzel, M.; Kraus, T.; Straub, S.: Kollaboratives Engineering – Grundzüge und Herausforderungen der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit beim Engineering von Produkten und begleitenden Services. Studie der Begleitforschung zum BMWi-Programm PAiCE; Berlin; Februar 2019. Online verfügbar unter https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2019-04-01-paice-studie-engineering.html (zuletzt abgerufen am 12.11.2019).

Standardisierte Formate und Durchgängigkeit

Ausgehend von der historisch gewachsenen Vielfalt an Engineering-Werkzeugen mit ihren meist mehr oder minder proprietären Datenformaten, hat sich der AutomationML e. V. zum Ziel gesetzt, die Entwicklung und Verbreitung eines standardisierten Datenaustausches im Engineering-Prozess von industriellen Automatisierungssystemen, insbesondere durch die Spezifikation allgemein kompatibler Datenschnittstellen, voranzutreiben. „Ziel der Vereinstätigkeit ist es dabei, durch den standardisierten Datenaustausch erhebliche Effizienzen und damit Kosten- und Zeiteinsparungen zu realisieren, indem Daten aus unterschiedlichen Gewerken des Engineering-Prozesses problemlos zwischen verschiedenen Engineering-Systemen über definierte Schnittstellen transferiert werden können…"[22]. Ausgehend von bestehenden, offenen, etablierten Standards ist es das Ziel, ein XML-basiertes Top-Level-Format, das anerkannte Standards für wichtige technische Aspekte enthält, zu realisieren. Die Spanne reicht vom einfachen Datenexport über Verschlüsselung bis hin zum Versionsmanagement und dem Austausch von Bibliotheken. AutomationML ist heute eine offene, XML-basierte Normenreihe (IEC 62714-1 bis -4) zur Beschreibung und Modellierung von Produktionsanlagen und -komponenten.

Das AutomationML-Format nimmt im PAiCE-Projekt INTEGRATE eine wichtige Rolle ein und der AutomationML e. V. wurde von Partnern des PAiCE-Projekts INTEGRATE initiiert. Ergebnisse aus INTEGRATE flossen als Erweiterungen in das Normenwerk von AutomationML insbesondere in die IEC 62714-4 ein[23].

Neben dem Austausch und der Interaktion von Entwurfsdaten spielt die Kommunikation und Interaktion von Betriebsdaten eine wichtige Rolle bei der Digitalisierung. Als offener Standard hat sich hier OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) über die letzten Jahre entwickelt und etabliert. Ein wesentliches Element von OPC ist die Abstrahierung von konkreten Kommunikationslösungen wie Profibus oder TCP/IP. OPC ist heute eine Sammlung von Standards (IEC 62541) für den Datenaustausch im Bereich der Industrieautomation. OPC UA beschreibt sowohl den Datentransport als auch Schnittstellen und die Semantik der Daten als service-oriented-architecture. OPC UA beinhaltet weitreichende hierarchische Sicherheitsmechanismen. Wie bei AutomationML ist die Herstellerunabhängigkeit eine Schlüsseleigenschaft von OPC UA.

Ähnlich wie bei AutomationML trägt eine Non-Profit-Organisation – in diesem Fall die OPC foundation – die Koordination und Weiterentwicklung. OPC UA und AutomationML ergänzen sich, wie etwa in der DIN SPEC 16592:2016-12 dokumentiert. Teilweise im Wettbewerb, teilweise aber auch in Ergänzung zu beiden vorgenannten Standardisierungsaktivitäten steht das – primär von US-amerikanischen Unternehmen wie AT & T, Cisco, GE, IBM und Intel – gegründete „Industrial Internet Consortium" (IIC).

Die in den vorgenannten Projekten beteiligten Unternehmen schätzen ebenfalls die vielfältigen Möglichkeiten, die der offene Kommunikationsstandard bietet. Wegen der Offenheit und Durchgängigkeit wird OPC UA auch hier als ein wichtiger Baustein für die Realisierung von Industrie 4.0 gesehen. Daher sind die Chancen groß, dass OPC UA eines Tages weltweit als Kommunikationsschnittstelle zur unternehmensübergreifenden Verknüpfung und Steuerung von Maschinen und Anlagen genutzt wird.

22 Vereinssatzung AutomationML e.V. i. d. Fassung vom 08.04.2009; §2(1)

23 IEC 62714-4:2020; Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering - Automation markup language - Part 4: Logic; Ausgabedatum: Juni 2020.

Das Projekt „Exploratory Data Science over Raw Data“ (exdra) aus dem BMWi-Programm „Smarte Datenwirtschaft“ greift einen weiteren Aspekt des Datenhandlings auf: Gerade in Bestandsanlagen sind zwar große Mengen von Daten verfügbar. Um diese jedoch nutzbar im Sinne eines Feedbackprozesses zu machen, müssen häufig heterogene, verteilte oder beschränkt zugängliche Datenquellen verwendet werden. Weiterhin ist die zentrale Konsolidierung von Daten technisch und ökonomisch nicht immer sinnvoll oder unterliegt Zugangsbeschränkungen (z. B. sensible Daten). Entsprechend ist der typische Data Science Prozess in Unternehmen explorativ, d. h. Data Scientists stellen Hypothesen auf, integrieren mit hohem Aufwand die notwendigen Daten, führen unterschiedliche Analysen durch und suchen damit nach interessanten Mustern und Modellen. Da der Mehrwert im Vorfeld der Analyse unbekannt ist, werden kaum Investitionen in die systematische Akquise, Integration und Vorbereitung der Daten getätigt. Die Idee von exdra ist es, geeignete Systemunterstützung für diese explorativen Data Science-Konstellationen zu schaffen. Auf der universitären Seite (TU Berlin, TU Graz, DFKI) ist die Veröffentlichung von Open source Methoden dazu vorgesehen. Weitere Information zu diesem Projekt sind unter www.exdra.de zu finden.

.

5 FuE-Entwicklungen

Rahmenbedingungen

Der im vorigen Kapitel avisierte Umbruch beim Engineering wird durch eine Reihe von Rahmenbedingungen geprägt, die die laufenden FuE-Arbeiten und auch die Weiterentwicklung von Wertschöpfungsprozessen wesentlich auszeichnen:

- Mechanik, Elektronik und Software weisen **völlig unterschiedliche Innovationszyklen und Lebensdauern** auf. Deshalb gilt es einen wirtschaftlichen Migrationspfad zu beschreiten, der das (Re-)Engineering/Retrofit solcher Investitionsgüter einschließt.
- Das Engineering soll zukünftig, zumindest weitgehend, ohne physische Funktionsmuster bzw. Prototypen auskommen, ist also idealerweise weitgehend bis vollständig softwarebasiert. **Simulation sowie virtuelle, mixed und augumented Reality** werden damit unverzichtbare Schlüsselfähigkeiten.
- Zum Engineering gehört es auch, bereits die **technischen Voraussetzungen für Services** für Diagnose, Wartung etc. zu schaffen, die unter Umständen erst später im Laufe einer iterativen Entwicklung definiert werden. Auch die nachträgliche Implementierung solcher Services im Rahmen von Anlagen-Retrofits kann durch das Engineering unterstützt werden.
- **Künstliche Intelligenz (KI)** wird als neu verfügbare und zu integrierende Fähigkeit im Engineering Berücksichtigung finden. Besondere Herausforderungen an die aktuell verfügbaren Methoden des Maschinellen Lernens entstehen allerdings aus der (auch zukünftig) beschränkten Zahl von verfügbaren Daten, insbesondere in industriellen Anwendungen. KI-basierte Verfahren werden zwar zunehmend eingesetzt, etwa für die Überwachung und die vorausschauende Wartung von repetitiven Maschinenabläufen und -prozessen. Jedoch handelt es sich dabei fast immer um Anwendungen des Maschinellen Lernens auf Fälle, für die es ausreichend Referenzdaten gibt. Um wesentliche Fortschritte etwa bei der „Online“-Prozessoptimierung für komplexere Systeme und eine entsprechende Robustifizierung zu erreichen, müssen datenbasierte Ansätze des Maschinellen Lernens mit wissens- bzw. modellbasierten algorithmischen Ansätzen kombiniert und zielgerichtet eingesetzt werden. Dies ist aufgrund der typischerweise knappen Datenlage, die durch nicht-dauerhafte Zustände, rückgeführte Steuer-Inputs und sich ändernde Prozessbedingungen erzeugt wird, unumgänglich und erfordert zielgerichtete Untersuchungen sowohl im Bereich der Grundlagenforschung, als auch der angewandten Forschung. Vielversprechende Ansätze gibt es hier im Bereich des Bestärkenden Lernens (Reinforcement Learning).
- Neben technischen Fragestellungen sind Forschungsaufgaben im Bereich der **Arbeitswissenschaften** zu beleuchten: Heterogene Teams, Agilität und quasiparallele Arbeit stellen neue Herausforderungen dar.
- Die Frage der Datenhaltung im zukünftigen Engineering zeigt beispielhaft die **enge Interaktion zwischen den Betrachtungsebenen**. Hier werden sowohl technische Aspekte wie auch wirtschaftliche und rechtliche Faktoren über die zukünftige Entwicklung entscheiden. Sowohl **Plattformkonzepte** als auch **Peer-to-Peer-Lösungen** erscheinen erfolgversprechend und gehen jeweils mit Prinzip-bedingten Vor- und Nachteilen einher.

Fasst man diese Aspekte zusammen, ist von einer signifikant wachsenden Komplexität von Engineeringabläufen auszugehen. Das betrifft sowohl die technische Seite als auch soziale und betriebswirtschaftliche Aspekte.

Auf der Forschungsebene hat das BMBF mit der Bekanntmachung „Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering für die Wertschöpfung von morgen (PDA_ASE)“[24] die Fragestellung „Wie die Entstehung von digitalisierten Marktleistungen in Zukunft organisiert werden, um auch zukünftig am Hochlohnstandort Deutschland erfolgreich agieren zu können?“ aufgegriffen. In diesem Kontext wird als technisches System ein in der Regel komplexes technisches Produkt bzw. Produkt-Service-System einschließlich seines digitalen Abbilds (Modells) verstanden.

Die in der Bekanntmachung definierten Rahmenbedingungen greifen unmittelbar die vorgenannten Fragestellungen auf: „… Die technischen Systeme von morgen werden mehr denn je auf das Zusammenwirken von vielen unterschiedlichen Fachdisziplinen wie Ingenieurwissenschaften, Informatik, Soziologie, Arbeits- und Wirtschaftswissenschaft sowie Betriebswirtschaft beruhen. Bei der Entstehung solcher Systeme sind unzählige Aspekte zu berücksichtigen und aufeinander abzustimmen, wie beispielsweise die Herstellbarkeit, die Benutzerfreundlichkeit, die Vernetzbarkeit, die Sicherheit und die Nachhaltigkeit. Innovationserfolge werden sich auf Dauer nur dann einstellen, wenn Unternehmen befähigt werden, derart komplexe technische Systeme professionell, gegebenenfalls gemeinsam mit Lieferanten und Kunden zu entwickeln …“

FuE-Trends

Eine aktuelle Analyse der nationalen und europäischen FuE-Aktivitäten im Kontext Engineering liefert ein sehr breites Spektrum von laufenden Verbundprojekten. Aus der Detailbetrachtung ausgeschlossen wurden in einem ersten Schritt Projekte im Bereich Biotechnologie (“tissue engineering“ etc.) sowie Projekte im Bereich Materialwissenschaften/ Nanotechnologien. Im verbleibenden Projektpool zeichnen sich folgende Schwerpunktthemen ab:

- Systems Engineering
- Simulation und Analyse (in der Regel im Kontext bestimmter Anwendungen), einschließlich Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit
- Softwareentwicklung (z. B. Software-as-a-Service, Testing)
- Engineering für ausgewählte Anwendungsfelder
- Projekte mit Bezug zur additiven Fertigung.

Im europäischen Maßstab ist auffällig, dass sich die Forschung stark auf Produktionstechnik in einem weiten Branchenspektrum konzentriert. Neue Verfahren wie Additive Manufacturing sind stark verbreitete Themen. Engineering-Aspekte werden in solchen Projekten eher am Rande mitbetrachtet, nicht aber als Kern eines Projekts. Dem stehen unmittelbar auf Engineering ausgerichtete F&E-Projekte und Bekanntmachungen in deutschen Förderprogrammatiken gegenüber. Hier zeigt sich auch die unterschiedliche Herangehensweise: In Deutschland wurde der Grundstein durch Industrie 4.0 aus der Informatik heraus gelegt.

24 Bekanntmachung im Rahmen des Forschungsprogramms „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ - Richtlinie zur Förderung von Projekten zum Thema „Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering für die Wertschöpfung von morgen (PDA_ASE)“; Bundesanzeiger vom 06.03.2019; https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2359.html

In den anderen europäischen Staaten steht das Wiedererstarken der Fertigungstechnik im Mittelpunkt (vgl. industrie du future in Frankreich, europäische Vanguard-Initiative).

- **Deutschland:** Auf nationaler Ebene sind folgende Aktivitäten außerhalb von PAiCE und dem Rahmenprogramm Digitale Technologien von Bedeutung:
- **Projekt PRODISYS** (Engineering Produktionsbezogener Dienstleistungssysteme), 01.07.2017–31.12.2020, https://prodisys.fortiss.org): Das Projekt PRODISYS untersuchte das Vorgehen bei der Erstellung von Plattform-Ökosystemen in der Produktion und ihrem Umfeld, wobei neue Dienste eine verbesserte Planung und Koordination von Produktion und ihr angeschlossenen Bereichen ermöglichen sollen. Dazu sollten neue, synergetische Dienstleistungskonzepte entwickelt und die Datenintegration vorangetrieben werden. Neben den technischen Herausforderungen wurden im Rahmen der Umsetzung bei den Praxispartnern Wertschöpfungsmodelle erprobt und Produktivitätsfaktoren identifiziert.[25] Die Akteure des Verbundprojektes waren teilweise auch in entsprechenden Verbundprojekten in PAiCE und seinen Vorgängerprogrammen aktiv.[26]
- **Projekt SEAMLESS** (Simulationsgestützte, assistenzsystem-basierende Engineering- und Maintenance-Dienstleistungen für Lean Aftersales-Services, 01.02.2020–31.01.2023; https://seamless.fzi.de) Die Simulation von Wertschöpfungsprozessen auf unterschiedlichen, miteinander gekoppelten und interagierenden Ebenen (Maschine, Steuerung, Prozess, Wertstrom) stellt den Kern dieses Projektes dar. Dabei steht nicht die Herstellung einer Maschine / Anlage am Beginn des Lebenszyklus, sondern sein weiterer Verlauf im Fokus der Betrachtung. Aufbauend auf dem Grundkonzept des digitalen Zwillings wird die Einbindung digitaler Services über geeignete (Geschäfts-) Prozesse und Systemintegrationsmechanismen untersucht. Dabei werden sowohl Plattformtechnologien selbst als auch Mensch-Maschine-Schnittstellen wie AR/VR berücksichtigt, um das Zusammenwirken von (Maschinen-)Anbietern, Systemintegratoren sowie deren Kunden sicherzustellen. Besonderer Fokus ist eine KMI-gerechte Architektur, die diesen den Weg zu internetbasierten Aftersales-Services öffnet.[27] Zum Zeitpunkt des Redaktionsschluss dieser Publikation, etwa ein Jahr nach dem Start von SEAMLESS, wurden erste Teilergebnisse bei der Verknüpfung von Simulationsunterstützung und praxisnahen Betriebs-, Instandhaltungs- oder Umbauszenarien bei den Anwendungspartnern des Projektes präsentiert.“[28]
- **Forschungscampus Arena 2036** (Active Research Environment for the Next Generation of Automotives: Stuttgart; https://www.arena2036.de). Kernziel des BMBF-Forschungscampus ist es, die Fertigung von Faserverbundbauteilen mit funktionsintegrierenden Strukturen in den Stückzahlen einer Großserie mit einem breiten Spektrum an Produktvarianten möglich zu machen. Weiteres Ziel ist die Entwicklung von Konzepten sowie Prozess- und Logistikmodulen für die flexible Produktion jenseits der klassischen Bandmontage. Dafür werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus den Bereichen Konstruktion und Materialien sowie Simulation und digitaler Prototyp zusammengeführt und die Grundlagen für ein radikal neues Produktionskonzept erarbeitet.
- **LeichtbauCampus – Open Hybrid LabFactory** (Wolfsburg; https://open-hybrid-labfactory.de/). Der Schwerpunkt dieses BMBF-Forschungscampus liegt auf der simultanen

25 M. Duchon: PRODISYS (Übersichtswebseite des Projektes); https://www.fortiss.org/forschung/projekte/detail/prodsys (zuletzt nachgeschlagen: 20.04.2021)
26 Eine Vorstellung der Gesamtergebnisse von PRODISYS stand zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses des vorliegenden PAiCE-Monitors noch aus.
27 O. Petrovic: SEAMLESS (Übersichtswebseite des Projektes); https://www.wzl.rwth-aachen.de/go/id/dbkhr (zuletzt nachgeschlagen: 09.09.2020)
28 SEAMLESS-Plattform – Integration macht Fortschritte!; erstellt: 08.03.2021; https://seamless.fzi.de/wordpress/?p=224 (zuletzt nachgeschlagen: 08.04.2021)

Material- und Produktionstechnik-entwicklung in Multi-Material-Systemen für den funktionsintegrierten, hybriden Leichtbau. Dazu wird nahezu die gesamte Wertschöpfungskette für hybride Bauteile abgebildet; von der konzeptionellen Auslegung, über die Textilhalbzeug- und Organoblech-herstellung sowie den Fertigungsprozessen hybrider Bauteile, bis hin zum dazugehörenden Life Cycle Design & Engineering und einschließlich des Recyclings. Zur Charakterisierung der Produktions-schritte und Multi-Material Systeme steht zudem eine umfassende Analyse- und Prüftechnik zur Verfügung.

Europa: Fokussierte Engineering-Projekte wie sie in PAiCE gefördert werden, sind auf europäischer Ebene kaum vertreten. Trotzdem gibt es auch hier relevante Aktivitäten:

PPP Factories of the Future (PPP-FoF) / Made in Europe

Webseite: https://www.effra.eu/

Die Public-Private-Partnership auf europäischer Ebene „Factories of the Future" wurde 2008 gestartet. Seitdem wurden mehr als 200 Verbundprojekte mit mehr als 1000 Partnern durch das 7. EU-Forschungsrahmenprogramm und Horizont 2020 im Rahmen von „Factories of the Future" gefördert. Die private Seite wird durch European Factories of the Future Research Association (EFFRA) vertreten, in der etwa hundert Unternehmen, Forschungseinrichtungen sowie Vereine und Cluster als Mitglieder vertreten sind. Das übergeordnete Ziel der PPP besteht darin, die Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit der Industrie in der Europäischen Union durch Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsmaßnahmen zu verbessern, die zur Entwicklung neuer wissensbasierter Produktionstechnologien und -systeme in mehreren Sektoren führen.

Mit dem neuen EU Forschungsrahmenprogramm Horizon Europe wird „Factories of the Future" durch „Made in Europe" abgelöst, von dem zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses dieses PAiCE-Monitors das Draft Proposal[29] vorlag.

Dieses beschreibt den zukünftigen doppelten ökologischen und digitalen Wandel der europäischen Fertigungsindustrie. Diese findet sich sowohl in der Rolle des Treibers wie auch des Betroffenen dieser Transformationsprozesse. Ungeachtet dessen wird die Technologieführerschaft auch zukünftig der Schlüssel zum Erfolg bleiben. Aktuelle Trends wie die Integration von Künstlicher Intelligenz, die Nutzung von Industriedaten, die Transformation in eine Kreislaufwirtschaft und die Notwendigkeit von Agilität und Reaktionsfähigkeit erfordert die Bündelung von Ressourcen und eine Weiterentwicklung des kollaborativen Agierens.

Angesichts der Herausforderungen sollen öffentliche und private Akteure ihre Zusammenarbeit verstärken, um die europäische Fertigungsindustrie dabei zu unterstützen, diese Herausforderungen zu bewältigen und neue Chancen zu nutzen. Das bedeutet insbesondere:

- Ressourcen aus den bestehenden regionalen, nationalen und europäischen Initiativen für das verarbeitende Gewerbe zu bündeln, um das verarbeitende Gewerbe in Europa im Wettbewerb mit finanzstarken außereuropäischen Konkurrenten zu unterstützen.
- Die digitale Transformation und datenbasierte Geschäfte in der verarbeitenden Industrie voranzutreiben.

29 European Commission; EFFRA: Made in Europe – The manufacturing Partnership in Horizon Europe (2021 – 2027); https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation/funding/documents/ec_rtd_he-partnership-made-in-europe.pdf (zuletzt nachgeschlagen: 08.04.2021)

- Den Übergang zu umweltfreundlichen und ressourceneffizienten Wertschöpfungsketten im verarbeitenden Gewerbe zu beschleunigen.
- Die entwickelten Technologien in Unternehmen, insbesondere in KMU, in allen Regionen Europas einzuführen.
- Die Arbeitskräfte beim lebenslangen Lernen und bei der Technologieanpassung zu unterstützen.

Future Directions of Production Planning and Optimized Energy and Process Industries (FUDIPO)

Webseite: www.fudipo.eu

- Koordinator: Maelardalens Hoegskola, Hogsskolenplan 1, 72123 Västeras, SWE
- Insgesamt elf Verbundpartner (deutsche Beteiligung: Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau Bayreuth)
- Laufzeit: 01.10.2016 bis 30.09.2020

Das Projekt adressierte – im Unterschied zu den PAiCE-Projekten – die energieintensive Prozessindustrie (Zielbranchen: Raffinerien, Keramikindustrie, Papierindustrie, Chemieindustrie). Das Projekt kann somit komplementäre Erfahrungen zu den PAiCE-Projekten liefern. Zusätzlich werden im Projekt FUDIPO auch Energieaspekte berücksichtigt. Zu diesem Zweck untersuchte FUDIPO prototypische Use-Cases in den Sektoren Zellstoff und Papier, Raffinerie, KWK-Kraftwerk und Abwasserbehandlung. Am 11. März 2020 fand der virtuelle Abschlussworkshop zusammen mit dem Projekt COCOP (Coordinating Optimisation of Complex Industrial Processes) statt.

Das Projekt integrierte maschinelle Lernfunktionen in großem Umfang in verschiedenen kritischen Prozessindustrien. Damit konnten signifikante Verbesserungen der Energie- und Ressourceneffizienz sowie eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit gezeigt werden. Als Ergebnis wurde ein Satz von Werkzeugen für Diagnose, Datenabgleich und Entscheidungsunterstützung, Produktionsplanung und Prozessoptimierung einschließlich modellbasierter Steuerung erstellt. Die Vorgehensweise bestand darin, physikalische Prozessmodelle zu konstruieren, die dann kontinuierlich mit „guten Daten" und „schlechten Daten" zur Fehlerdiagnose angepasst werden. Nach dem maschinellen Lernprozess kann die Klassifizierung von Daten automatisiert werden. Bediener und Prozessingenieure interagieren mit dem System, um die Systemleistung zu erlernen und zu verbessern. Die Basisplattform kann mit großen Automatisierungsplattformen und Datenbanken verbunden werden (Durchgängigkeit). Die Modellbibliothek wird auch verwendet, um die Auswirkungen von Prozessänderungen zu bewerten. Durch den Einsatz bewährter Simulationsmodelle mit neuen Komponenten und die Anbindung an das entwickelte Prozessoptimierungssystem entstand ein genaues Bild von den tatsächlichen Betriebsabläufen der modifizierten Anlage.

Die Ergebnisse des Projektes liegen in einer Publikation vor:

K. Kyprianidis; Dahlquist (Hg.): AI and Learning Systems; Industrial Applications and future Directions; DOI: 10.5772/intechopen.85833; ISBN: 978-1-83968-601-6; 02/17/2021.

RE-manufaCturing and Refurbishment LArge Industrial equipMent

Webseite: www.reclaim-project.eu

- Koordinator: HARMS & WENDE GmbH & Co. KG; DE
- Insgesamt 21 Verbundpartner (davon drei deutsche)
- Laufzeit: 01.10.2019 bis 31.03.2023

Die Idee von RECLAIM ist es, Technologien und Strategien für die Sanierung großer Industrieanlagen zu demonstrieren. Im Rahmen des Projektes werden IoT-Sensoren, neuartige Vorhersage- und Prozessoptimierungstechniken, um die Lebensdauer der Maschine zu verlängern und damit die Produktivität zu steigern, genutzt. Innovative Fog-Computing- und Augmented-Reality-Techniken werden mit verbesserten Methoden zur Überwachung des Anlagenzustands sowie zur Fehlerinspektion und -diagnose kombiniert, die den effektiven Materialeinsatz optimieren, die Wartungskapazitäten verbessern und letztendlich wirtschaftliche Verbesserungen erreichen sollen. Das Projekt wird in fünf realen Industrieumgebungen demonstriert, um den Lebenszyklus der Industrieanlagen zu bewerten und die Machbarkeit des Ansatzes für die Integration und Skalierung auf andere Industriesektoren aufzuzeigen.

Als Zwischenergebnis wurde im Oktober 2020 die erste Fassung eines Normungstoolkits zu bestehenden internationalen Normen für Remanufacturing und Refurbishment mit einem ganzheitlichen, sektor- und technologieübergreifenden Ansatz veröffentlicht. Dieses Toolkit soll jährlich mit dem Projektfortschritt und Änderungen in der Normungslandschaft aktualisiert werden.

6 Projekte

Alle vier PAiCE-Projekte in dem Themencluster Engineering leisten wichtige, praxisnahe Beiträge zu industriepolitischen Schlüsselthemen. Die Projekte zeigen, wie mit den Herausforderungen in der betrieblichen Praxis, etwa fehlenden standardisierten Datenformaten und implementierten Erfassungsmethoden, umgegangen werden kann und wie digitale Unterlagen in bestehenden Produktionsanlagen eingesetzt und ausgetauscht werden können. Auch die Potenziale der Migration bestehender Produktionsanlagen gilt es zu berücksichtigen.

Der Fortschritt der vier Förderprojekte seit Beginn des Technologieprogramms PAiCE wird auf den folgenden Seiten dargestellt.

DEVEKOS

Durchgängiges Engineering für sichere, verteilte und kommunizierende Mehrkomponentensysteme

Kurzsteckbrief

DEVEKOS hat Industrie 4.0-konforme Kommunikationslösungen sowie neuartige Engineering Methoden entwickelt, die zur Automatisierung von Maschinen beitragen. Mithilfe digitaler Zwillinge werden ein durchgängiges und funktionsorientiertes Engineering sowie ein intelligenter, flexibler und effizienter Betrieb von Maschinen ermöglicht. Die Automatisierungsgeräte arbeiten unabhängig vom Hersteller zusammen.

www.devekos.org

Ausgangslage

Die Grundidee der Industrie 4.0 (I4.0) basiert auf dem Gedanken, dass sich alle für die Produktion relevanten Objekte – darunter fallen Maschinen und deren Bestandteile, Produkte oder Zuliefermaterial ebenso wie Pläne, Aufträge, Verträge oder Bestellungen – digital miteinander vernetzen und austauschen können, also zu Aktivposten (Assets) werden. Damit dieses gelingt, müssen digitale Repräsentationen der physischen Objekte geschaffen werden. Da diese Repräsentationen über alle relevanten Informationen, Merkmale und ansteuerbaren Funktionen der physischen Objekte verfügen, werden sie bildhaft auch als digitale Zwillinge bezeichnet. Im Kontext der Industrie 4.0 wird an digitale Zwillinge eine besondere Anforderung gestellt: Sie müssen über eine standardisierte Kommunikationsschnittstelle verfügen, über die sie sich als Objekt in die Industrie 4.0-Kommunikation einbinden lassen. Daher wird im I4.0-Kontext der digitale Zwilling, als Verwaltungsschale bezeichnet.

Zusammen mit einem Asset bildet eine Verwaltungsschale eine I4.0-Komponente, sodass mithilfe der Verwaltungsschale alle Assets identifiziert und adressiert werden können, was den kontrollierbaren Zugriff auf alle Informationen und Verhaltensweisen der ins System eingebundenen Gegenstände erlaubt. Die Verwaltungsschale ist skalierbar und kann herstellerübergreifend standardisiert und über Branchen- und Unternehmensgrenzen hinaus eingesetzt werden, was sowohl intelligentere, flexiblere und effizientere Engineering- als auch Produktionsprozesse ermöglicht.

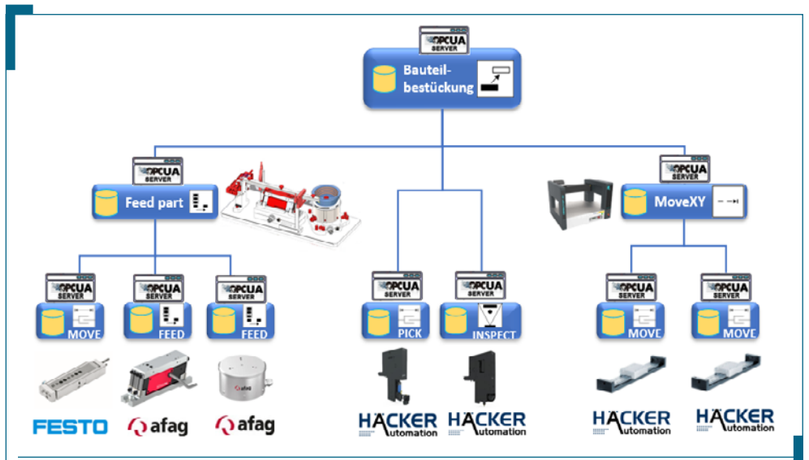
Für dieses theoretische Konzept fehlte es bislang an realitätsnahen Umsetzungen und damit an praktischen Erfahrungen bei I4.0-Produktionssystemen. Das Projekt DEVEKOS ntwickelte daher praxisnahe Beispiele, mit denen sich Automatisierungslösungen auf Basis des digitalen Zwillings demonstrieren lassen. Das Kernziel von DEVEKOS war es, Realisierungen sowohl für die Engineeringphase als auch für die Betriebsphase zu zeigen und so eine Gesamtsicht auf I4.0-Automatisierungssysteme zu entfalten. Für den Datenaustausch im Engineering-Prozess wurde das herstellerunabhängige Datenformat AutomationML gewählt. Die Maschinenarchitektur der I4.0-Automatisierungsgeräte in der Betriebsphase wurde mit OPC UA umgesetzt – dem Kommunikationsstandard für I4.0-Systeme.

Ergebnisse

Neue, objektbasierte Maschinenarchitektur: Bereits 2018 gelang es dem DEVEKOS-Konsortium in Zusammenarbeit mit zahlreichen weiteren Industriepartnern und mit dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagebauer (VDMA) die erste objektbasierte OPC-UA-Maschinenarchitektur im VDMA OPC UA Demonstrator zu realisieren. Mit den Erfahrungen des VDMA-Demonstrators wurden die Ergebnisse im weiteren Projektverlauf auf reale Maschinen bei den Maschinenbaupartnern des Konsortiums übertragen, um den Reifegrad, die Relevanz und das Potential der Lösung für die industrielle Umsetzung festzustellen.

Umsetzungsprojekt bei Häcker Automation

Beim Partner Häcker Automation wurde die Architektur auf eine Bestückungsmaschine angewandt. Diese besteht aus einer Zuführeinheit, aus zwei Prozessköpfen (Kamerainspektion und Teilebestücker) und einem 2-Achssystem.

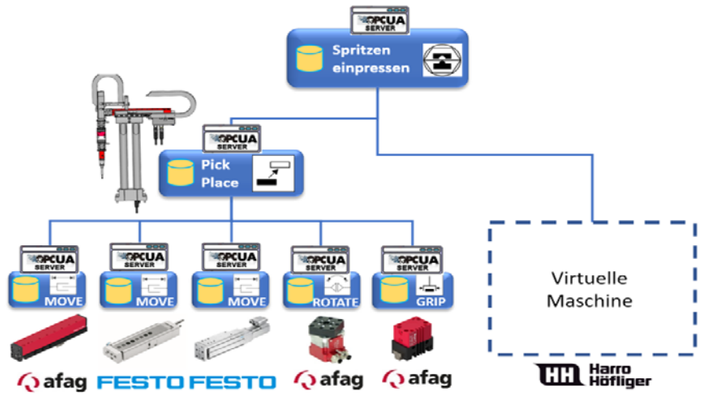


OPC UA Maschinenarchitektur Häcker Automation

Alle Geräte der Maschinen verfügen über ihren eigenen digitalen Zwilling. Für Geräte die keine geeignete eigene Rechenplattform besitzen, ist das über ein Steuergerät von Festo gelöst. So wird eine hohe Flexibilität im Aufbau der Steuerungsarchitektur von I4.0-Maschinenarchitekturen erreicht. Eine übergeordnete klassische SPS-Steuerung ist für die Zuführeinheit nicht mehr notwendig. Die notwendige Software für die digitalen Zwillinge befindet sich direkt auf den Geräten. Mit dieser Architektur gewinnt der Maschinenbauer eine hohe Wandelbarkeit und Wiederverwendbarkeit seines Systems.

Umsetzungsprojekt bei Harro Höfliger

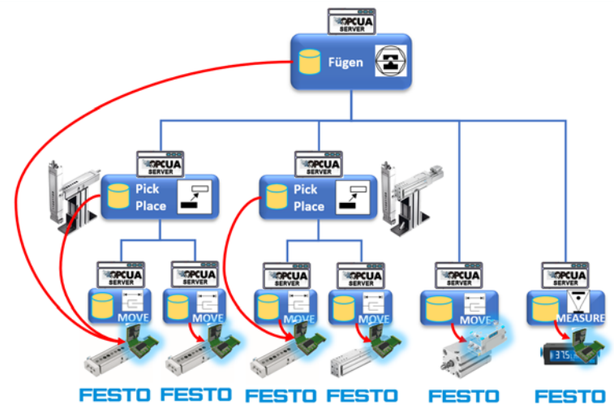
Ein ähnliches Umsetzungsprojekt wurde beim Partner Harro Höfliger durchgeführt. Auch hier wurde eine Handhabungsstation aus vollständig integrierten Automatisierungskomponenten gebildet, die alle ihren digitalen Zwilling inklusive der übergeordneten Steuerungsfunktion beherbergen. Die Gesamtmaschine läuft als virtuelle Maschine, ist aber auch nahtlos über OPC UA integriert. Als Gesamtsteuerung dient ein Raspberry Pi, der die Steuerungsabläufe auf oberster Ebene koordiniert.



OPC UA Maschinenarchitektur Harro Höfliger

Umsetzungprojekt bei Festo

Schließlich wurde bei Festo eine weitere Umsetzung realisiert, die auch auf der Hannover Messe 2021 im Innovation Space von Festo demonstriert wurde. Auch hier ist ein System aus integrierten Komponenten aufgebaut. Die digitalen Zwillinge der Einzelgeräte als auch der übergeordneten Einheiten laufen auf den CPUs der Einzelkomponenten. Übergeordnete Steuerungen sind nicht mehr notwendig. Die vollständige Steuerung der Maschine läuft auf dem verteilten System der Einzelkomponenten.



OPC UA Maschinenarchitektur bei Festo

Mit Hilfe der Webapplikation „MachineArchitect“ kann nun per Browser das System durchgängig überwacht und gesteuert werden. Die Nutzung der neuen I4.0-Maschinenarchitektur basiert vollständig auf digitalen Zwillingen: von der Steuerung der Maschine bis zur Datenerhebung und den daraus resultierenden Mehrwertdiensten wie z.B. Wartung oder Diagnose. Technische Brüche, wie es heute noch zwischen den unterschiedlichen Feldbussystemen der Fall ist, fallen ersatzlos weg. Eines der größten Potentiale für die Zukunft aber ist, dass die Interaktion von externer Software mit dieser digitalen Architektur möglich ist. Das eröffnet für die Zukunft eine Vielzahl von Möglichkeiten, das Engineering und den Betrieb von komplexen Maschinensystemen zu vereinfachen.

Projektverwertung

Nach Verifikation der entwickelten Lösungen durch die Industriepartner sollen sowohl bei den Herstellern als auch bei den Maschinenbauern Ableitungen für die Gestaltung zukünftiger Produktgenerationen getroffen werden. Außerdem werden die Ergebnisse in die entsprechenden Standardisierungsgremien und in die öffentliche Diskussion eingebracht.

HEUTE	ZUKUNFT
Es gibt keine herstellerübergreifenden Standards für Automatisierungsfunktionen.	Dank generischer Standards und geeignetem Automatisierungsequipment lassen sich vielfältige Automatisierungsfunktionen realisieren.
Zwischen verschiedenen Fachdisziplinen fehlen standardisierte Schnittstellen im Engineering.	Der digitale Zwilling ermöglicht standardisierte Schnittstellen im Engineering zwischen den Werkzeugen der Domänen Mechanik, Elektrik und Software.
Zwischen den Akteuren sind systembedingt Informationslücken entlang der Wertschöpfungskette unvermeidbar.	Es wird ein durchgängiger Datenfluss zwischen Komponentenherstellern, Maschinenbauern und -betreibern geschaffen.
Gerätehersteller müssen eine Vielzahl von Feldbus-Kommunikationsprotokollen entwickeln und bereitstellen.	Über die Jahre wird sich ein neues herstellerübergreifendes DigitalTwin-basiertes I4.0-Kommunikationssystem etablieren.

Konsortium

FESTO AG & Co. KG (Konsortialführung), ASYS Automatisierungssysteme GmbH, CODESYS GmbH, elrest Automationssysteme GmbH, fortiss GmbH, Häcker Automation GmbH, Harro Höfliger Verpackungsmaschinen GmbH, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, NewTec GmbH, SCHAEFF Maschinen GmbH & Co. KG, Softing Industrial Automation GmbH, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart

Ansprechpartner

Johannes Hoos, FESTO SE & Co. KG
johannes.hoos@festo.com

EMuDig 4.0

Effizienzschub in der Massivumformung durch Integration digitaler Technologien im Engineering der gesamten Wertschöpfungskette

Kurzsteckbrief

EMuDig 4.0 entwickelte digitale Innovationen in der Massivumformung, durch die Herstellungsprozess, Produktinformationen, Maschinen, Anlagen und Werkzeuge miteinander verbunden werden können. Dazu wurden entlang der gesamten Wertschöpfungskette digitale Technologien und Methoden erprobt, die den besonderen Anforderungen rund um die Schmiedetechnologie genügen. In mehreren Anwendungsbeispielen wurde gezeigt, dass sich durch Analyse der generierten Produktionsdaten die Prozesskette optimieren lässt, Mitarbeiter in ihrer Tätigkeit unterstützt und damit die Gesamtanlageneffizienz gesteigert werden kann

www.massivumformung.de/forschung/emudig-40

Ausgangslage

Ob Zahnrad, Schwenklager, Turbinenschaufel oder Kurbelwelle – die Herstellung vieler metallischer Werkstoffe erfolgt durch Verfahren der sogenannten Massivumformung. In Deutschland wird diese überwiegend in mittelständischen Unternehmen durchgeführt, die Bauteile für die Automobil- und Luftfahrtindustrie, den Maschinenbau und andere Industriezweige anfertigen. Die Unternehmen stehen nicht nur im internationalen Wettbewerb, sondern auch vor neuen Herausforderungen wie immer komplexeren Bauteilen oder alternativen Fertigungsverfahren wie der Additiven Fertigung. Hinzu kommt die immer durchgängiger werdende Digitalisierung industrieller Prozessketten, für die die Branche nur unzureichend gerüstet ist. So werden etwa die Fertigungsdaten häufig dezentral und in unstrukturierter Form abgelegt. Historisch bedingt existieren dafür zudem unterschiedliche Dateiformate und Schnittstellen. Entsprechend war die Vernetzung der Daten und damit einhergehend auch die Digitalisierung der Massivumformung bislang weitgehend unerprobt.

Ergebnisse

Zentrales Ziel des Projekts war es, die Effizienz der Anlagen für Massivumformung durch die Digitalisierung des Engineerings zu steigern. Dafür wurden digitale Technologien und Methoden entwickelt, die an verschiedenen Punkten der Wertschöpfungs- und Prozesskette ansetzen. Das besondere Interesse galt dabei dem Erfassen, Verarbeiten und Analysieren von Fertigungsinformationen, um Assistenzsysteme für unterschiedliche Aufgaben zu entwickeln. Die Umsetzung erfolgte in mehreren Teilprojekten mit spezifischen Zielen:

- Predictive Maintenance (vorausschauende Wartung): Durch die Ausrüstung von Anlagen mit Sensorik und der Implementierung eines Condition Monitoring Systems sollen Maschinen in Echtzeit überwacht und deren Wartung bedarfsgerecht geplant werden.
- Predictive Quality (vorausschauende Qualitätssicherung): Mithilfe automatisierter Assistenzsysteme sollen Effizienz und Qualität der Produktion überwacht und Probleme in der Fertigung schneller erkannt werden, bevor sie zu Störungen führen.
- Predictive Planning (vorausschauende Planung): Durch die Vorhersage der Lebensdauer der eingesetzten Produktionswerkzeuge sollen Fertigungsaufträge optimal geplant werden.

Einsatz des Assistenzsystems für Maschinenbediener in der Schmiede der OTTO FUCHS KG (Quelle: Otto Fuchs)

Für all diese Ziele wurden im Projekt praxisnahe Lösungen entwickelt. An einer Schmiedepresse wurde beispielhaft Predictive Maintenance umgesetzt. Die bedarfsgerechte Wartung der Presse lässt sich nun bequem online über einen Webbrowser organisieren. Für die Predictive Quality wurden zwei Assistenzsysteme entwickelt: Das erste ermöglicht es, Maschinen- und Anlagendaten über die gesamte Produktionskette hinweg auszuwerten – von der Rohmaterialerzeugung in der Gießerei bis hin zur Nachbearbeitung der Werkstücke. Das zweite Assistenzsystem ermöglicht die Echtzeitverfolgung relevanter Kennzahlen und Parameter innerhalb eines Anlagenverbunds und unterstützt Maschinenbediener aktiv, indem es konkrete Vorschläge und Hinweise zur optimalen Einstellung der Maschinen gibt.

Zur vorausschauenden Qualitätssicherung dient auch das im Projekt entwickelte Cyber-physische Produktionssystem. Solche Systeme verbinden mechanische Komponenten über Netzwerke mit Informationstechnik. Im Projekt wurde damit ein Beispiel für den Datenfluss von Warmschmiedeprozessen entwickelt. Bei diesen besteht die Herausforderung unter anderem darin, dass für die Rückverfolgbarkeit der Werkstücke eine Markierung aufgebracht werden muss, die sich in den Schmiedetakt einfügt und den Schmiedeprozess überdauert. Die entwickelte Lösung wurde auf der informationstechnischen Ebene mit einem Metamodell verknüpft. Dadurch können die Realdaten aus dem Schmiedeprozess mit den Vorgaben im Modell abgeglichen werden, sodass Prozessdrifts abbildbar sind und Gegenmaßnahmen durchgeführt werden können. Im Anwendungsbeispiel für Predictive Planning wurden Parameter wie der Werkzeugverschleiß, die Schmiermittel-Sprühmengen und Produktionsunterbrechungen zur Vorhersage des Werkzeugausfalls herangezogen.

Projektverwertung

Durch die erarbeiteten Hilfsmittel entsteht erstmalig eine durchgängige Daten- und Informationsbasis mit allen für die Produktion in diesen Fertigungslinien relevanten Kenngrößen. Diese Informationsbasis steht nun nicht nur der Fertigung zur Verfügung, sondern auch Mitarbeitenden aus organisatorischen oder Servicebereichen. Zu den dargestellten Arbeiten werden Leitfäden entwickelt und veröffentlicht, die die Einführung ähnlicher Technologien zukünftig erleichtern. Die Leitfäden sind abzurufen unter www.massivumformung.de/forschung/emudig-40/.

HEUTE	ZUKUNFT
In den Produktionslinien liegen die Daten bislang nur dezentral und weitgehend unstrukturiert vor. Es fehlt eine Dateninfrastruktur, mit der sich die Daten anwendungsspezifisch zusammenführen lassen.	Die im Projekt angelegte übergreifende Dateninfrastruktur für einzelne Produktionslinien schafft die Voraussetzung für ein anlagen- und produktübergreifendes Engineering. Ermöglicht wird so künftig auch die umfassende Vernetzung zwischen Maschinen, Anlagen und Produkten dank übergreifendem Engineering.
Die Effizienz der Prozesse ist bislang nur schwer zu ermitteln, da relevante Kenndaten entlang der Prozesskette nur mit großem Aufwand erfassbar sind. Die Effizienz der Prozesse kann daher meist nur nachträglich ermittelt werden, sodass für Optimierungen sehr viel Zeit einzuplanen ist.	Durch die entwickelten Tools zur datengetriebenen, statistischen Auswertung von Maschinen- und Anlagendaten können Assistenzsysteme eingesetzt werden, die die Effizienz der Produktion überwachen und so die Produktivität steigern.
Werkstücke der Massivumformung sind mitunter nur schwer oder gar nicht rückverfolgbar. Daher fehlt es an Daten, um Produktionsprozesse im Unternehmen durchgängig analysieren zu können.	Durch die Entwicklung cyber-physischer Produktionssysteme stehen Produktionsdaten und Kenngrößen für Fertigungslinien prozessübergreifend im Unternehmen zur Verfügung und können zur Nachverfolgung des Produktionsprozesses genutzt werden. Künftig werden Werkstoffe dank Sensortechnologie mit einem eindeutigen „digitalen Fingerabdruck“ versehen, sodass Produktionsdaten technologisch und logistisch noch transparenter und nachvollziehbarer werden.
Die Vorhersage, wann aufgrund der Auslastung mit einem Ausfall von Produktionswerkzeugen zu rechnen ist, beruht weitgehend auf individuellen Erfahrungen sowie fragmentarisch vorliegenden Daten. Das zwingt die Produktionsplanung, mit einer Ungewissheit zu arbeiten.	Relevante Kenngrößen exemplarischer Produktionswerkzeuge werden erfasst und aktiv zur Fertigungsplanung verwendet. Durch die intelligente Datenanalyse wird es in Zukunft auch möglich sein, den Zustand und Verschleiß von Produktionswerkzeugen verlässlich vorherzusagen.
Der Zustand der Anlagen kann nur vor Ort und nicht zentral überwacht werden, was mit hohen Kosten verbunden ist.	Der Verschleiß und Wartungsstand exemplarischer Produktionsanlagen kann mit geeigneten Visualisierungswerkzeugen zentral überwacht werden. Die automatisierte Überwachung und Maschinenparameter-Anpassung konnten teilweise demonstriert werden. Die intelligente Datensammlung und -analyse ermöglicht eine effizientere Produktion- und Instandhaltungsplanung.

Konsortium

OTTO FUCHS KG (Konsortialführer), Hirschvogel Holding GmbH, SMS group GmbH, FH Südwestfalen – Labor für Massivumformung (LFM), Universität Stuttgart – Institut für Umformtechnik (IFU) und Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS), TU Dresden – Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (ZIH)

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Lukas Kwiatkowski, OTTO FUCHS KG
Lukas.Kwiatkowski@otto-fuchs.com

INTEGRATE

Offene Plattform für kooperatives Engineering

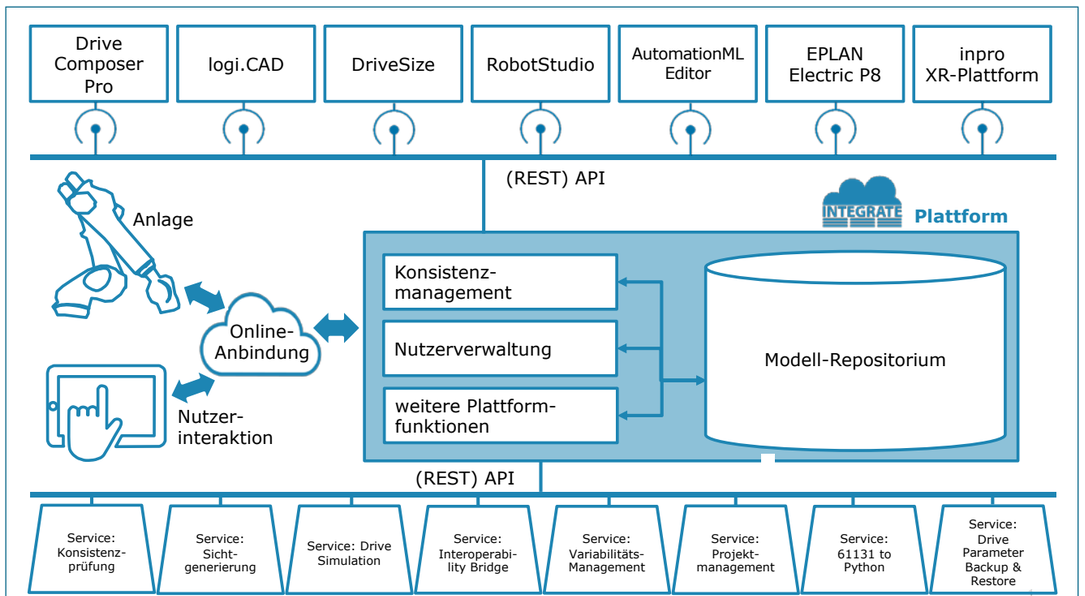
Kurzsteckbrief

INTEGRATE ermöglicht über eine Plattform den Austausch von Entwurfs- und Laufzeitdaten zwischen Engineering-Werkzeugen unterschiedlicher Hersteller. Damit schafft das Projekt die Voraussetzung für ein unternehmensübergreifendes kooperatives Engineering. Die Plattform ist offen für weitere Anbieter, die eigene Dienste anbieten und integrieren können. Grundvoraussetzungen wie Datensicherheit und Rechtemanagement werden von der Plattform gesteuert. Der Entwurfsprozess wird deutlich flexibler und schneller.

www.integrate.ovgu.de

Ausgangslage

Beim Engineering von Produkten und Produktionssystemen ist die Verwendung digitaler Tools längst Standard. Zu den besonderen Herausforderungen im Entwurfsprozess gehört, dass alle am Engineering beteiligten Werkzeuge mitunter zeitgleich zum Einsatz kommen. Das setzt voraus, dass sie miteinander synchron Daten austauschen können. Im mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbau werden jedoch häufig Engineering-Werkzeuge unterschiedlicher Hersteller verwendet, die für diese Aufgabe nicht gerüstet sind. Über offene Lösungen kann der herstellerübergreifende Austausch von Entwurfs- und Laufzeitdaten entlang der Werkzeugketten zwar unterstützt werden, doch sind die Möglichkeiten hier bislang beschränkt und mit erheblichen Kosten verbunden.



Anforderungen an die Integrate-Plattform

Ergebnisse

Als Lösung entwickelte INTEGRATE eine Plattform, die den Austausch von Entwurfs- und Laufzeitdaten zwischen existierenden Engineering-Werkzeugen ermöglicht und so ein kooperatives und unternehmensübergreifendes Engineering sicherstellt. Selbst Werkzeuge, die bisher nicht über ein gemeinsames Datenbanksystem synchronisiert sind, können nun am kooperativen Engineering teilnehmen. Die Plattform wurde auf Grundlage des neutralen, auf Planungsdaten zugeschnittenen Austauschformates AutomationML entwickelt.

Die Plattform erlaubt es auch Drittanbietern, eigene Dienste anzubieten und zu integrieren. Die dafür notwendigen Voraussetzungen wie Datensicherheit und Rechtemanagement werden von der Plattform gesteuert. Zudem kann die Plattform für Softwaredienste genutzt werden, mit denen sich die Qualität im Engineering verbessern lässt wie das Management variabler Anforderungen und das Erzeugen unterschiedlicher Blickwinkel auf ein Modell („Sichtenerzeugung"). Da die häufig manuell durchzuführenden und fehlerbehafteten Konvertierungsprozesse wegfallen und Unstimmigkeiten automatisiert erkannt und repariert werden, ist der Entwurfsprozess durch die INTEGRATE-Plattform deutlich flexibler und schneller. Der Mittelstand wird mit der Plattform so in die Lage versetzt, Industrie-4.0-Szenarien für das Engineering umzusetzen.

Die Funktionalitäten der Plattform wurden an Demonstratoren in unterschiedlichen Anwendungsszenarien erprobt. Unter anderem wurden Planungswerkzeuge unterschiedlicher Hersteller über die Plattform so miteinander gekoppelt, dass sie Daten austauschen können. Die Plattform übernimmt dabei das Rechtemanagement und stellt sicher, dass die Daten korrekt übermittelt werden. Dieses Szenario konnte in zwei unterschiedlichen Softwaredemonstratoren realisiert werden:

Im ersten wurden unterschiedliche Planungswerkzeuge über die INTEGRATE-Plattform miteinander verbunden und projektspezifische Planungsdaten über die Plattform zur Verfügung gestellt. Dabei wurde das standardisierte Datenaustauschmodell „AR APC"[1] (Application Recommendation - Automation Project Configuration) der AutomationML e. V. verwendet. Im zweiten Softwaredemonstrator wurde auf Basis von AutomationML AR APC ein Prototyp für den Datenaustausch von AutomationML-Dateien zwischen einer Simulations- und Offline-Programmiersoftware und einem Drittanbieter-Tool implementiert. Dabei wurden unterschiedliche im Projekt entwickelte Dienste und Services genutzt, um verschiedene Planungsaufgaben zu teilautomatisieren.

In der Projektlaufzeit wurde auch die Integration von Augmented- und Virtual-Reality-Technologien (Extended-Reality (XR)-Technologien) erprobt. Dabei wurden die Änderungen und Ergänzungen der Daten, die sich aus der Arbeit mit den XR-Umgebungen ergeben, auf die Daten der Engineering-Werkzeuge übertragen.

Die Demonstratoren zeigten, dass manuelle Vorgänge mithilfe der Plattform automatisiert und Projektlaufzeiten bei gleichzeitig steigender Qualität der Planungsdaten verkürzt werden können. Zugleich ermöglicht die INTEGRATE-Plattform kürzere Innovationszyklen und agile Prozesse, da sie den Entwurfsprozess von Anlagen flexibilisiert.

1 AutomationML e. V., Automation Project Configuration, V1.1.0, Oct 2018 https://www.automationml.org/o.red/uploads/dateien/1542365565-ApplicationRecommendation_AutomationProjectConfiguration_V1.1.0.zip

Projektverwertung

Die entwickelte Lösung kann in vielfältigen Anwendungsfeldern des Engineerings eingesetzt werden. Beispiele für eine Anwendung mit einem hohen Innovationspotenzial sind die Antriebsauslegung im Rahmen des klassischen Engineering-Workflows, die Roboterplanung oder die Verwendung von VR-Technologien bei der Layoutplanung. Weitere Infos dazu bieten die Folien der Abschlussveranstaltung, die auf der INTEGRATE-Homepage (integrate.ovgu.de) zu finden sind. Dort wird auch der Abschlussbericht veröffentlicht. Erkenntnisse aus den Arbeiten des INTEGRATE Projektes sind zudem in das Whitepaper „AutomationML Component"[2] des AutomationML e.V. eingeflossen und werden in den internationalen Normungsprozess integriert.

2 https://www.automationml.org/o.red.c/news-277.html

HEUTE	ZUKUNFT
Daten werden bei der Produktentwicklung fehleranfällig zwischen den Werkzeugen ausgetauscht.	Die offene Plattform ermöglicht einen konsistenten Datenaustausch zwischen den Entwurfswerkzeugen. Inkonsistenzen werden automatisiert erkannt und repariert.
Entwicklung von Schnittstellen zwischen Planungswerkzeugen, die bestimmte Datenmodelle unterstützen, können nicht in flexiblen Werkzeugketten genutzt werden.	Die INTEGRATE Plattform ermöglicht den flexiblen Aufbau von Werkzeugketten, die ein Datenmodell (wie zum Beispiel das AR APC der AutomationML e. V.) unterstützt.
Drittanbieter können nur mit großen Hürden ihre Dienste im Produktionsprozess einbringen.	Drittanbieter können auf der Plattform eigene Dienste anbieten und leicht in den Produktionsprozess integrieren.
Eine sichere Weitergabe von Daten während des Produktionsprozesses kann nicht garantiert werden.	Grundvoraussetzungen wie Datensicherheit, Nutzer- und Rechtemanagement werden von der Plattform gesteuert.
Wenig Flexibilität bei Engineering-Prozessen sorgt für hohe Kosten und wenig Effizienz.	Mittels Änderungsmanagement und der Verwaltung von Varianten führen flexible Engineering-Prozessketten zu Effizienz-steigerungen und senken somit die Kosten.
Durch manuell gesteuerte Prozesse ergeben sich lange Projektlaufzeiten.	Projektlaufzeiten können durch die Automatisierung von Prozessen signifikant verkürzt werden.

Konsortium

inpro Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH (Konsortialführung), ABB AG, FZI Forschungszentrum Informatik, logi.cals automation solutions & services GmbH, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Ansprechpartner

Daniel Wolff
INPRO Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH
daniel.wolff@inpro.de

VariKa

Vernetztes Produkt- und Produktions-Engineering am Beispiel variantenreicher Fahrzeugkarosserien

Kurzsteckbrief

Im Projekt VariKa wurden Methoden entwickelt, mit denen eine Fertigung von variantenreichen Karosseriekomponenten in geringen Stückzahlen wirtschaftlich umsetzbar ist. Entwickelt, erarbeitet und erprobt wurden diese Methoden anhand eines Batterieträgers für Automobile und der zugehörigen Prozesskette. VariKa zeigte dabei die Potenziale einer Fertigung von Fahrzeugkomponenten auf, bei der der 3D-Druck kombiniert wird mit vorrichtungslosem Fügen, wodurch auf gesonderte Vorrichtungen beim Zusammenfügen der Bauteile verzichtet werden kann.

www.varika.de

Ausgangslage

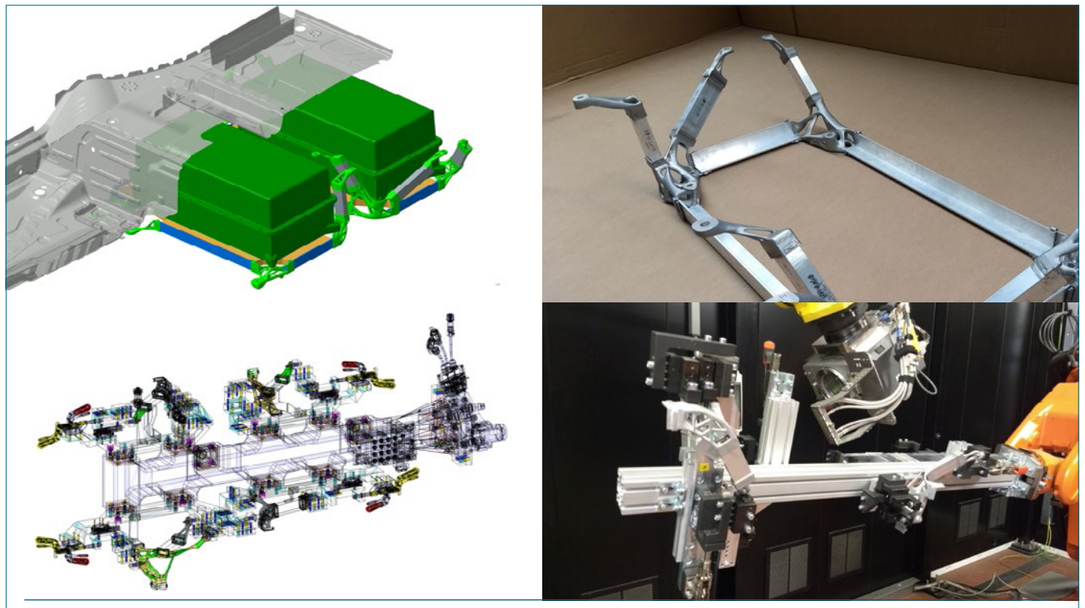
In der Automobilbranche werden heute Fahrzeugkarosserien in einer nie gesehenen Variantenvielfalt hergestellt. Bei der Produktion von metallischen Karosseriebauteilen werden derzeit vor allem Werkzeuge zur Umformung sowie Vorrichtungen zum Einspannen und Fixieren von Bauteilen eingesetzt. Diese Fertigungsmittel verursachen Kosten in der Anschaffung, Instandhaltung und Wartung, was bei einer geringen Fertigungsmenge zu einem hohen Teilepreis führt. Um die Fertigung bestimmter Karosseriekomponenten effizienter zu gestalten, wurden im Projekt VariKa neue Prozesse und Herstellungsmethoden erprobt.

Ergebnisse

Bei der Erprobung der Herstellungsmethoden variantenreicher Karosseriekomponenten stand der 3D-Druck im Mittelpunkt, da er am deutlichsten eine Effizienzerhöhung erwarten ließ. Zudem wurde die Mischbauweise von 3D-Druck in Kombination mit vorrichtungslosem Fügen untersucht. Dabei werden in die Bauteile Steckverbindungen integriert, sodass für das Positionieren und Fügen der Bauteile auf gesonderte Vorrichtungen weitgehend verzichtet werden kann. Die Konstruktion ist flexibel an andere Fahrzeugklassen und Bauräume anpassbar. Um die Schnittstellen dieser Kombination zu verbessern, wurde ein durchgängiges Produkt- und Produktionsengineering entwickelt. Als Demonstrator wurde das Beispiel eines Batterieträgers für einen Kleinwagen gewählt. Entsprechend müssen die Batterien in unterschiedlichen Größen und Gewichten in den Träger integrierbar sein. Mit Hilfe der Mischbauweise aus 3D-Druck und vorrichtungslosem Fügen sowie einer durchgängigen digitalen Prozesskette zeigt VariKa auf, wie sich variantenreiche Bauteile der Autoindustrie kostengünstig und mit verkürzten Rüst-/Antwortzeiten bei Variantenänderungen fertigen lassen.

Die variantenintensive Konzeptkonstruktion des gesamten Batterieträgers konnte durch die Nutzung einer Software zur Generierung automatisch optimierter Bauteile effizient realisiert werden. Zur Darstellung der Variantenvielfalt wurden ein Augmented-Reality-Modell und ein messetauglicher Demonstrator erstellt. Durch Versuche im Dauerbetrieb konnten Erfahrungen sowohl bei 3D-Druck-Verfahren als auch der Mischbauweise, der Prozessgestaltung und -optimierung sowie der Wirtschaftlichkeit des Ansatzes von VariKa gesammelt werden:

Erfahrungen aus Praxistests: Das vorrichtungslose Fügen erfordert teilweise weniger komplexe Geometrien, um eine definierte Bauteilposition sicherzustellen. Dabei lassen sich aber nicht alle gewünschten Positionierhilfen in jeder Fertigungsposition eines Bauteils realisieren. Die Umsetzung gelingt jedoch mit spezifischen 3D-Druck-tauglichen Geometrien, die sich vorzugsweise unabhängig von der Baurichtung realisieren lassen.



Hinterer Abschnitt des Batterieträgers als CAD-Modell und reales Muster / Quelle: EDAG Engineering GmbH, FFT Produktionssysteme GmbH
Geometriegreifer zum Fügen von Einzelbauteilen des hinteren Trägerabschnitts als CAD-Modell und reales Muster / Quelle: FFT Produktion systeme GmbH

Ergebnisse aus Computersimulationen: Im Projekt wurde auch die Modellierung der Aluminiumlegierung AlSi10Mg mithilfe von Computersimulationen durchgeführt, die in der Automobilbranche häufig für den 3D-Druck verwendet wird. Das reine Materialverhalten ist dabei insbesondere im plastischen Teil als abhängig von der Fertigungsrichtung des Bauteils anzusehen („anisotropes“ Verhalten). Die optimale Fertigungsrichtung kann gewählt werden, wenn die Hauptbelastungsrichtungen des Bauteils bereits bei dessen Herstellung bekannt sind.

Entwicklung variantenreicher Geometriegreifer: Um geometrisch variable Einzelbauteile bzw. Teilabschnitte aufnehmen zu können, wurde ein vorrichtungsloses Fügewerkzeug in Form eines spezifischen Geometriegreifers realisiert. Dies erlaubt eine schnelle Adaption der Fertigung an eine Variantenänderung des zu fertigenden Batterieträgers.

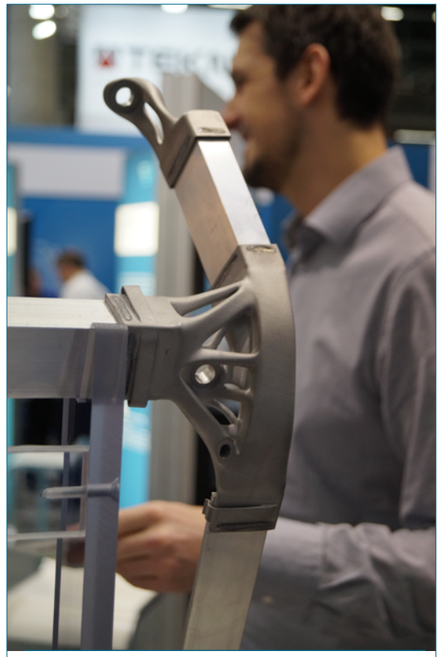
Der Roboter positioniert den Greifer und damit die Bauteile optimal für jeden Schweißvorgang. Das Fügekonzept für den gesamten Batterieträger ist zweistufig ausgelegt: Die Profilabschnitte und 3D-Druck-Strukturknoten werden zunächst aus Einzelteilen zu Struktur-Teilabschnitten gefügt. Im zweiten Schritt entsteht der komplette Batterieträger durch Verbinden dieser Teilabschnitte.

Die vorrichtungslose Fertigung wird bereits in den Betrieb eines Konsortialpartners etabliert und die virtuelle Inbetriebnahme weiter ausgebaut und optimiert. Zudem kann durch die gewonnenen Erkenntnisse im Bereich Schweißen von additiv gefertigten metallischen Werkstoffen künftig auf Kundenanforderungen besser eingegangen werden.

Wirtschaftlichkeit des Ansatzes von VariKa: Die Wirtschaftlichkeit der Mischbauweise additiv und konventionell gefertigter Teile in Kleinserie ist vom konkreten Einzelfall abhängig. Je mehr Funktionen im Bauteil integriert werden können und dadurch Einzelteile und Fügeoperationen entbehrlich werden, desto wirtschaftlicher wird die in VariKa betrachtete Mischbauweise und erhöht die break-even-Stückzahl.

Projektverwertung

Auf Basis der VariKa-Projektergebnisse entwickelt das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF ein neues Bemessungskonzept für zyklisch beanspruchte Bauteile mit AM-spezifischem Werkstoffgefüge. Zudem werden die Ergebnisse in die nationale und internationale Normung zur Charakterisierung und Dokumentation des zyklischen Werkstoffverhaltens eingebracht, um zukünftig über eine einheitliche und zutreffende Werkstoffbeschreibung zu verfügen. Weitere Informationen und Ansprechpartner bietet die Projekt-Homepage www.varika.de.



Exponat des Projekts: Der Strukturabschnitt eines Batterieträgers, bestehend aus additiv gefertigten Strukturknoten und Alu-Strangpressprofilen.

HEUTE	ZUKUNFT
Die vom Kunden gewünschte Individualisierung kann von Automobilherstellern aufgrund der hohen Kosten kaum wirtschaftlich gewährleistet werden.	Selbst bei abnehmenden Stückzahlen kann eine große Variantenvielfalt gewährleistet werden.
Durch Insellösungen in der nicht aufeinander abgestimmten Wertschöpfungskette entstehen Fehlerquellen.	Durch das durchgängige Verständnis der Prozesskette werden Schnittstellen effektiv aufeinander abgestimmt und ein durchgängiges Produkt- und Produktionsengineering ermöglicht.
Individuelle Bauteile erzeugen hohe Kosten, da spezielle Werkzeuge und Vorrichtungen zu ihrer Herstellung benötigt werden.	Durch den Einsatz von 3D-Druckverfahren entfallen Werkzeug- und Vorrichtungskosten, individuelle Bauteile werden günstiger.
Bauteile können nur an bestimmten Maschinen zusammengefügt werden.	Bauteile werden so konstruiert und gefertigt, dass sie ohne Nutzung einer speziell dafür ausgelegten Maschine zusammengefügt werden können.
Es liegen kaum Erkenntnisse über die Betriebsfestigkeit von additiv gefertigten metallischen Strukturen und Schweißverbindungen mit diesen vor.	Wissen über 3D-gedruckte metallische Strukturen und Schweißverbindungen mit diesen liegen gesammelt vor und können für weitere Produktionen genutzt werden.

Konsortium

EDAG Engineering GmbH (Konsortialführer), Opel Automobile GmbH, FFT Produktionssysteme GmbH & Co. KG, FKM Sintertechnik GmbH, Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Ansprechpartner

Dr. Martin Hillebrecht, EDAG Engineering GmbH
martin.hillebrecht@edag.com

Ansprechpartner bei Projektträger und Begleitforschung

Projektträger DLR

Gerd Hembach | gerd.hembach@dlr.de
Dr. Sabine Hemmerling | sabine.hemmerling@dlr.de

Begleitforschung

Leitung der Begleitforschung, Kurzstudien
Peter Gabriel | gabriel@iit-berlin.de

Stellvertretende Projektleitung, Monitoring
Dr. Steffen Wischmann | wischmann@iit-berlin.de

Projektbüro
Nicola Rosenbusch | rosenbusch@iit-berlin.de

Fachgruppe Geschäftsmodelle, Verwertungsunterstützung
Birgit Buchholz | buchholz@iit-berlin.de

Fachgruppe Recht
Sebastian Straub | straub@iit-berlin.de

Fachgruppe Architekturen
Dr. Inessa Seifert | seifert@iit-berlin.de
Dr. Lisa Risch (DIN) | lisa.risch@din.de

Standards, Normen
Dr. Lisa Risch (DIN) | lisa.risch@din.de

Ergebnistransfer
Ute Rosin (LHLK) | u.rosin@lhlk.de

www.paice.de