

VDI

Thesen und Handlungsfelder

Einsatz von Informations- und
Kommunikationstechnik in der
Ingenieurarbeit der Zukunft

Januar 2015



Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die Bedeutung der Informationstechnik für Ingenieurberufe und für unsere Gesellschaft wächst rasant weiter und bietet damit immer bessere Chancen für die zukunftsorientierte Entwicklung. Dieses Thesenpapier bringt deshalb Bedeutung und Chancen der Informationstechnik für Ingenieurinnen und Ingenieure noch stärker in das Bewusstsein der Öffentlichkeit zu bringen und weist auf die Konsequenzen hin, die sich im nächsten Jahrzehnt daraus für Ingenieurinnen und Ingenieure und für Studierende der Ingenieurwissenschaften ergeben.

Die klassischen Ingenieurdisziplinen werden sich darauf einstellen müssen, Informationstechnik immer stärker als Werkzeug in ihrer täglichen Arbeit zu benutzen. Gleichzeitig ist es unabdingbar, dass Ingenieure ein Grundverständnis dafür entwickeln, was IT leisten kann und was nicht. Nur so kann der disziplinübergreifende Dialog zwischen Ingenieuren und Informatikern gelingen.

In diesem Thesenpapier haben die Autoren ausgehend von gesellschaftlichen Megatrends systemische Anforderungen an Ingenieurarbeitsplätze erarbeitet. Daraus leiten sich Anforderungen und Charakteristika von IT-Lösungen ab, mit denen Ingenieure zukünftig ihre Aufgaben in den jeweiligen Lebenszyklusphasen eines Produkts bearbeiten.

Nicht behandelt werden die Entwicklungen von IT-Technologien selbst, die die Autorenschaft als gegeben annimmt. Dennoch berücksichtigen die hier gemachten Aussagen deren voraussehbare Entwicklungen, sodass die hier getroffenen Aussagen dadurch nicht ungültig werden.

Im Mittelpunkt stehen vielmehr die folgenden Fragen und deren Beantwortung:

- Welche Auswirkungen hat die zunehmende IT-Durchdringung auf die zukünftige Arbeit von Ingenieuren?
- Wie entwickeln sich die IT-Werkzeuge, mit denen Ingenieure in Zukunft ihre Arbeit bewältigen?
- Welche Handlungsfelder ergeben sich für Ingenieure in den einzelnen Lebenszyklusphasen der Produkte?

Die im Folgenden beschriebenen Thesen und Handlungsfelder sind das Ergebnis eines Diskussionsprozesses von Ingenieurinnen und Ingenieuren, die schon heute an der Schnittstelle zwischen klassischen Ingenieurdisziplinen und Informationstechnik arbeiten. Sie sind im Rahmen mehrerer Workshops und intensiver inhaltlicher Auseinandersetzung entstanden.

Dem Autorenteam sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Inhalt

Vorwort	1
1 Einleitung	3
2 Megatrends und ihre Auswirkungen auf Ingenieurarbeit 2020+	5
2.1 Megatrends	5
2.2 Thesen zu den Auswirkungen der Megatrends auf den zukünftigen IKT-Einsatz	6
3 Ingenieurarbeit in den Phasen des Produktlebenszyklus von der Produktentwicklung bis zum Recycling und zur Refabrikation	12
3.1 Produktentwicklung	12
3.2 Fabrikplanung	12
3.3 Produktion (Betrieb)	12
3.4 Instandhaltung	12
3.5 Aftersales-Service	13
3.6 Recycling/Refabrikation	13
4 IKT-Einsatz in den Produkten der Zukunft	14
5 IKT-Werkzeuge in den Phasen des Produktlebenszyklus	15
5.1 Produktentwicklung	15
5.2 Fabrikplanung	17
5.3 Produktion (Betrieb)	19
5.4 Instandhaltung	22
5.5 Aftersales-Service	24
5.6 Produktablösung, Recycling und Refabrikation	24
6 Zehn IKT-induzierte Auswirkungen auf die Ingenieurarbeit	27
7 Zusammenfassung und Ausblick	28
8 Anhang	29
Schrifttum	30

1 Einleitung

Mit 152.000 Mitgliedern ist der VDI Sprecher der Ingenieurinnen und Ingenieure in Deutschland, deren Arbeitsumfeld sich langsam, aber merklich verändert: Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) ist inzwischen für Ingenieurinnen und Ingenieure aller Disziplinen und Branchen eine Querschnittstechnologie. Technologische IKT-Entwicklungen beeinflussen die Arbeit von Ingenieuren. Umgekehrt beeinflussen aber auch Ingenieure als Anwender in verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus den Einsatz und den Nutzen von IKT-basierten Werkzeugen. Sie definieren beispielsweise Arbeitsabläufe, Informationen und deren Verarbeitung als Daten und tragen damit wesentlich dazu bei, dass IKT-Werkzeuge weiterentwickelt und effizient genutzt werden. Damit sind sie gleichzeitig auch Gestalter von Informations- und Kommunikationstechnik in ihrem jeweiligen Arbeitsumfeld.

Der Fachbereich Informationstechnik der VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung hat sich darum die Aufgabe gestellt, in dieser Publikation zusammenzufassen, welche Einflüsse IKT auf die zukünftige Arbeit von Ingenieurinnen und Ingenieuren hat. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit haben die Mitwirkenden relevante gesellschaftliche Megatrends aufgenommen, sich daraus ergebende Anforderungen an die Ingenieurarbeit abgeleitet und daraus wiederum absehbare Entwicklungen bei IKT-Technologien in Produkten und IKT-Werkzeugen, mit denen Ingenieure arbeiten, abgeleitet. Das Vorgehen und die Struktur dieses Dokuments sind in Bild 1 zusammengefasst.

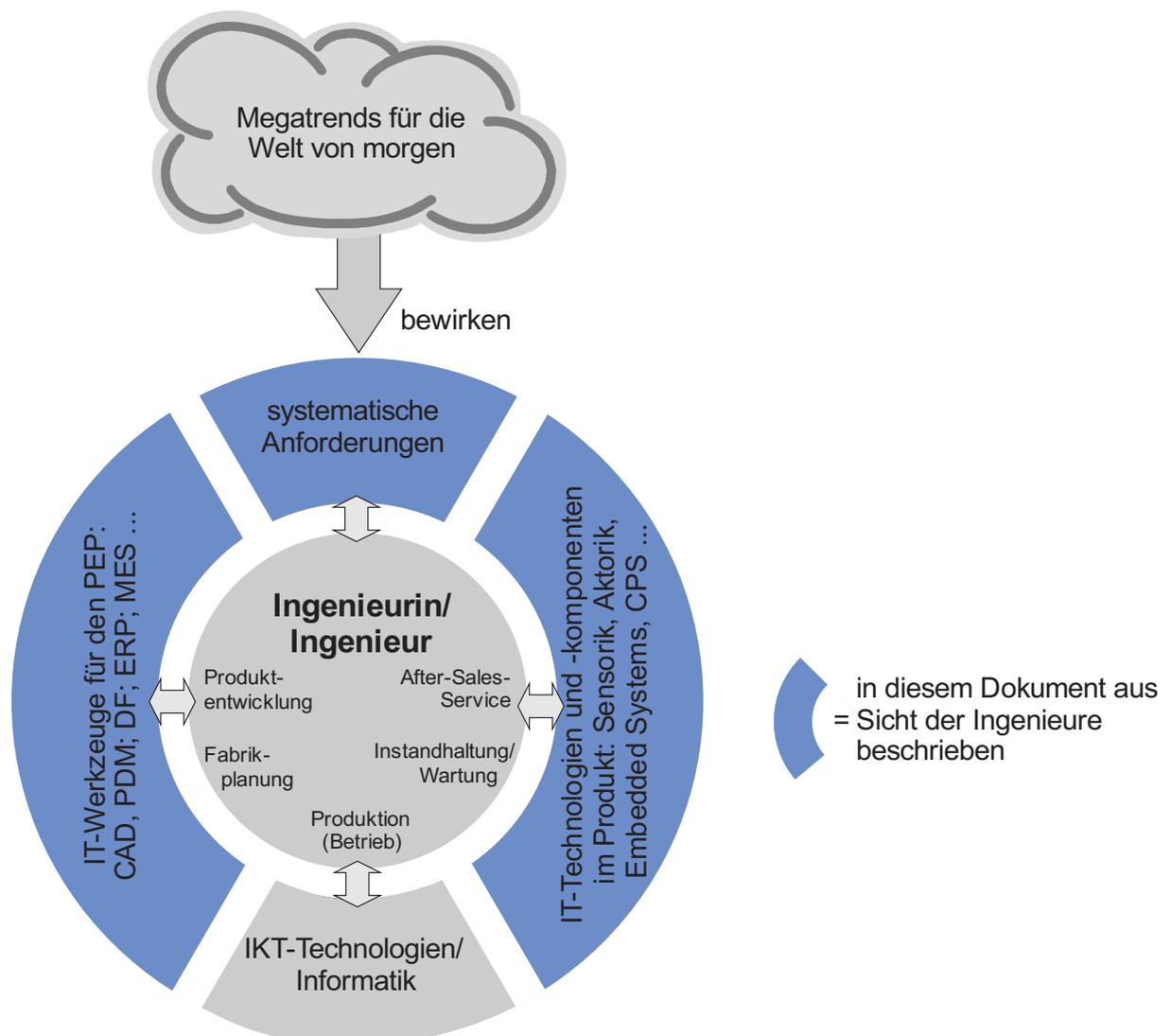


Bild 1. Struktur der vorliegenden Publikation

Der Softwareanteil in technischen Produkten nimmt ständig zu. Beispielweise steigt der Software- und Automatisierungsanteil im Maschinenbau kontinuierlich, der wertmäßige Anteil an Mechanik nimmt ab [1].

Durch die Verschiebung des Hard- und Softwareanteils bei Produkten, deren Komponenten sowie bei Dienstleistungen zugunsten des Softwareanteils verändert sich auch die Arbeit in Ingenieurberufen. Der zukünftige Ingenieur braucht zumindest eine Grundausbildung im Bereich der Informatik. Qualifizierte Software wird zwingend benötigt.

„Die heutige Produktentwicklung geht wesentlich mit unternehmensübergreifender Zusammenarbeit und einem intensiven Austausch von Produkten einher. Der (Entwicklungs-)Ingenieur bedient sich dabei einer Vielzahl von Prozessen und arbeitet mit unterschiedlichen digitalen Werkzeugen“ [2]. Er verfügt über eine große Anzahl von Softwareprogrammen, die allerdings weder ausreichend vernetzt sind, noch

– aus Zeitgründen – von ihm effektiv genutzt werden können. Hier werden zukünftig ein direkter Austausch der Programme und ein Sprachangleich der Fachdisziplinen untereinander gewünscht, sodass wieder ein intensiverer persönlicher Gedankenaustausch mit den Kolleginnen und Kollegen – interdisziplinär, über Fachgrenzen hinaus – möglich wird.

Durch Virtualisierung der Produktentstehung wird zukünftig sowohl eine erhebliche Verkürzung der Produktentstehung als auch eine Steigerung der Produktqualität erreicht werden und dies bei wachsendem Grad an Individualisierung von Produkten und Dienstleistungen.

Zur CEBIT befragte der VDI Ingenieurinnen und Ingenieure nach ihrer Einschätzung zu den größten technischen Trends in der IT. Bild 2 zeigt das Ergebnis aus den Jahren 2013 und 2014. Die Trends IT-Sicherheit, Embedded Systems, Breitbandinfrastruktur und Cloud Computing werden schon seit mehreren Jahren als äußerst wichtig eingestuft.

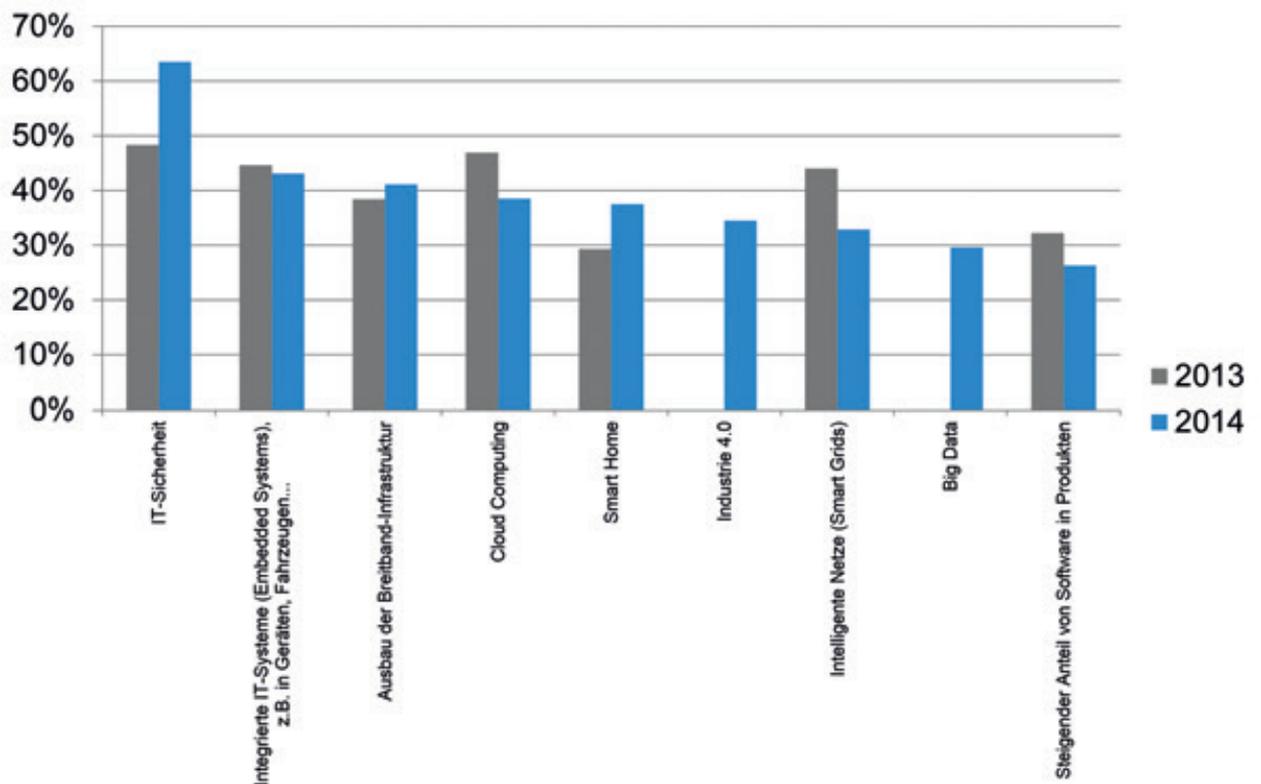


Bild 2. Einschätzung der größten technischen Trends in der IT (VDI-Umfrage zur CeBIT 2013 und 2014)

2 Megatrends und ihre Auswirkungen auf Ingenieurarbeit 2020+

2.1 Megatrends

Im folgenden Abschnitt sind kurz die gesellschaftlichen Megatrends beschrieben, aus denen das Autorenteam die Thesen und Handlungsfelder und die systemischen Anforderungen an den Arbeitsplatz der Ingenieurinnen und Ingenieure von morgen abgeleitet haben. Die aufgeführten Trends wurden von den Professoren Abele und Reinhart in ihrer Studie „Produktion der Zukunft“ herausgearbeitet [3].

2.1.1 Globalisierung

Weltweite Verflechtung von Politik, Wirtschaft und Kultur mit Auswirkungen auf Welthandel, internationale Unternehmenskooperationen und Produktionsnetzwerke sowie in- und ausländische Direktinvestitionen.

2.1.2 Durchdringung mit neuen Technologien

Zunehmende Verflechtung verschiedener Wissensdisziplinen, z.T. Verknüpfung von Mechanik, Elektronik und Informationstechnik zu Mechatronik mit neuen Anforderungen an die interdisziplinäre Zusammenarbeit und geänderten Engineering- und Produktions-Prozessen.

2.1.3 Dynamisierung der Produktlebenszyklen

Einerseits Verkürzung der Zeit zwischen zwei Produktgenerationen, andererseits schnelle Änderungen der Konsumenten- und Kundenwünsche mit teilweise gravierenden Auswirkungen auf Produktlebenszyklen, Lieferzeiten, Variantenvielfalt und Stückzahlen.

2.1.4 Ressourcenknappheit

Hoher Bedarf besonders an funktionsentscheidenden, wertvollen und oft knappen Rohstoffen, aus dem sich Handlungszwänge zur Einsparung und Rückgewinnung von Ressourcen, aber auch zu deren Substitution durch neue Werkstoffe oder Materialien ergeben.

2.1.5 Wissensgesellschaft

Das Wissen in den technischen Disziplinen wächst exponentiell, veraltet aber auch immer schneller. Daraus ergeben sich Anforderungen an Bildung, Wissenserwerb, -erhalt und -bereitstellung sowie Spezialisierung.

2.1.6 Gefahr der Instabilität

Die Dynamik der weltweit verflochtenen Wirtschaft und Märkte führt dazu, dass lokale (Konjunktur-) Schwankungen teilweise drastischere Auswirkungen in anderen Teilen der Welt haben können (Bullwhip-Effekt).

2.1.7 Demografischer Wandel

Grundlegende Änderung der Altersstruktur der Bevölkerung, insbesondere Überalterung und Bevölkerungsabnahme in den westlichen Ländern.

2.1.8 Klimawandel

Parallel zu knapper werdenden Ressourcen verändert sich das Weltklima mit den Folgen von Trinkwasserknappheit, Wüstenbildung oder Hochwasserkatastrophen.

2.1.9 Mobilität

führt als zentrales Grundbedürfnis dazu, dass Personen- und Güterverkehr – verbunden mit globalen Warenströmen – zunehmen, mit ökologischen Folgen und Auswirkungen auf neue Antriebstechnologien.

2.1.10 Lebensqualität

Für die westlichen Staaten und die Industrieländer ist die Sicherung der Lebensqualität von hoher Bedeutung, während die Schwellen- und Entwicklungsländer eine hohe Lebensqualität anstreben. Der Begriff „Lebensqualität“ umfasst positive Lebensbedingungen in allen Bereichen des gesellschaftlichen und privaten Lebens, mit vielfältigen Auswirkungen auf die Arbeit von Ingenieuren.

2.2 Thesen zu den Auswirkungen der Megatrends auf den zukünftigen IKT-Einsatz

2.2.1 These 1 - Globalisierung erfordert weltweiten sicheren Zugriff auf aktuelle Daten über den gesamten Lebenszyklus von jedem Ort aus

Aus der Globalisierung resultiert für die IKT eine Vielfalt von Anforderungen. Sie betreffen zum einen die technischen Produkte und zum anderen die Prozesse, in denen diese Produkte produziert und vertrieben werden bzw. defekte oder ausgemusterte Produkte wieder aufbereitet oder entsorgt werden.

Darum sind durch den IKT-Einsatz auch alle Lebenszyklusphasen der Produkte betroffen: Von der Produktentwicklung über die Produktion und den Vertrieb bis zum Einsatz beim Endkunden sowie danach der After-Sales-Service (Wartung, Reparatur, Umbaumaßnahmen, Ersatzteilerstellung etc.) bis zur Demontage und der Wiederaufbereitung bzw. dem Recycling der Ausgangsmaterialien.

Unter logistischen Gesichtspunkten lässt sich die Globalisierung aufteilen nach

- 1 Globalisierung der Absatzmärkte
- 2 Globalisierung der Beschaffungsmärkte
- 3 Globalisierung der Produktentwicklung bzw. Produktion im Unternehmen selbst mit weltweit verteilten Produktionsstandorten

Für alle drei genannten Punkte müssen einige systemische Anforderungen erfüllt sein. Hierzu gehören u.a.

- Verwaltung und zeitnahe Bereitstellung großer Informationsströme mit 365 Tagen × 24 Stunden Betrieb bzw. Verfügbarkeit
Die Entwicklung bzw. Herstellung von Produkten an weltweit verteilten Unternehmensstandorten bedeutet Produktion in verschiedenen Zeitzonen. Es ist somit davon auszugehen, dass „rund um die Uhr“ von unterschiedlichen Orten aus an ein und demselben Projekt bzw. Auftrag gearbeitet wird. Für die Datenhaltung im Unternehmensnetzwerk erfordert dies das sichere Vorhalten eines standortübergreifend aktuellen und konsistenten Datenbestands (Stamm-, Bestands-, Auftragsstatusdaten etc.), ohne zeitliche und örtliche Einschränkungen bezüglich des Datenzugriffs sowie die schnelle Verarbeitung großer Datenströme.

- Interoperabilität, „gleiche Sprache“, Datenaustausch
Eine weltweit vernetzte Produktentwicklung bzw. Produktion setzt voraus, dass auszutauschende bzw. zentral abrufbare Informationen in allen angeschlossenen Anwendungssystemen in gleicher Weise verstanden und Daten geeignet bereitgestellt werden, z. B. mithilfe von standardisierten Schnittstellenformaten oder über Klassifizierungssysteme. Innerhalb einzelner Unternehmen wird dies heute häufig durch „Hausstandards“ geregelt. Für den zukünftig stärker zu erwartenden Informations- und Datenaustausch über Unternehmensgrenzen hinweg ist Interoperabilität eine essenzielle Forderung, für deren Umsetzung dringend noch Standardisierungsarbeiten zu leisten sind.
- Vergleichbare Spezifikation der Produktbeschreibung
Die Globalisierung erfordert nicht nur die Interoperabilität hinsichtlich der IKT-technischen Aspekte eines weltweiten Datenaustauschs, sondern auch ein weltweit gleiches Verständnis bzw. gleiche Beschreibungsformen bezüglich technischer und betriebswirtschaftlicher Produktinformationen (Abmessungen, Oberflächen, Produktstruktur, Kostenfaktoren), Qualitätsinformationen (Toleranzen) sowie der Produktionsprozessinformationen (anzuwendende Technologien, Einstellwerte oder auch Prüfmerkmale für Bearbeitungsprozesse).
- freier Handel, (Produktions-)Netzwerke
Die Globalisierung der Produktion und die Produktion in weltweiten Netzwerken erfordert einen freien Informations- und Warenaustausch zwischen den einzelnen Netzwerkknoten (Entwicklungs-, Produktions-, Logistik-, Service-Standorte etc.). Basis hierfür sind u. a. der weitgehende Abbau von Handelsbeschränkungen und Zollschranken sowie die Minimierung des Aufwands für Zollabwicklung (Reduzierung bzw. Vereinheitlichung von Zollformalitäten, Online-Abwicklung der Formalitäten über alle Instanzen etc.).
- Umgang mit Komplexität
Die Bearbeitung von Projekten/Aufträgen in weltweit verteilten Entwicklungs- bzw. Produktionsnetzwerken bedeutet für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eines Unternehmens eine höhere Komplexität in den Geschäftsprozessen, z. B. höhere Anzahl beteiligter Instanzen oder auch das Weiterlaufen des Prozesses während der eigenen „Ruhezeiten“ an einem anderen Unternehmensstandort. Damit diese höhere Komplexität nicht zu Beeinträchtigungen der Projekt- und Auftragsbearbeitung führt, sind unterstützende IKT-Werkzeuge sowie gegebenenfalls ein Umdenken

und Anpassen der Arbeitsweise hinsichtlich der Projektbearbeitung notwendig.

- technische Stabilität und hohe Verfügbarkeit
Die Globalisierung der Absatzmärkte stellt neue Anforderungen an die Produkte eines Unternehmens hinsichtlich Produktaufbau und gegebenenfalls Fertigungstechnologien. Produkte müssen, um ihre technische Stabilität und hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten, auf die klimatischen Rahmenbedingungen am Einsatzort (Umgebungstemperaturen oder Luftfeuchtigkeit), die Einsatzbelastungen sowie die Qualifikation und technischen Fehlerbehebungsmöglichkeiten der Anwender abgestimmt sein. Viele Unternehmen sind darum heute bereits dazu übergegangen, aufbauend auf einem „Basisprodukt“ Phasen des Engineerings im jeweiligen Markt durchführen zu lassen, sodass das resultierende Produkt tatsächlich die Marktanforderungen (Stichwort: menschenzentrierter Entwicklungsprozess (vgl. VDI/VDE 3850 Blatt 1)) trifft und die jeweiligen gesetzlichen Vorgaben erfüllt.
- Mentalität, Geschäftsgebaren, Verhaltensregelwerk
Die Globalisierung führt dazu, dass Menschen aus verschiedenen Kulturkreisen mit unterschiedlicher Mentalität, Geschäftsgebaren und Verhaltensregelwerken in Kunden-/Lieferantenbeziehungen oder innerbetrieblich in gemeinsamen Projekten zusammenarbeiten. Für alle Beteiligten resultiert daraus die Anforderung, Produkte und Verfahren zu entwickeln, die die spezifischen Anforderungen der verschiedenen Kulturkreise berücksichtigen. Zahlreiche Informationen hierüber stehen den Beteiligten inzwischen mit hoher Aktualität sowie hoher örtlicher und zeitlicher Verfügbarkeit über moderne IKT-Anwendungen zur Verfügung.
- persönlicher Schutz, Datensicherheit, Plagiatschutz
Die Globalisierung stellt an Unternehmen neue Sicherheitsanforderungen. Dies betrifft verschiedene Aspekte, wie:
 - Sicherheit der Mitarbeiter bei Auslandseinsätzen, z. B. durch Information über länderspezifische Sicherheitsrisiken, Einbindung in „elektronische Überwachungs- und Warnsysteme“
 - Gewährleistung der Sicherheit von Unternehmens-, Produkt- und Kundendaten durch geeignete Zugriffssicherungen und Verschlüsselungsmechanismen
 - Schutz der eigenen Produkte vor illegalem Nachbau (Plagiate) und Einsatz, z. B. durch Implementierung fälschungssicherer Produkt-

kennzeichnungen, beispielsweise mittels RFID-Chip

- verursachungsgerechte Kostenzuordnung und geeignete Bezahlssysteme
Die Globalisierung der Absatz- und Beschaffungsmärkte, letztere nicht nur im B2B-, sondern auch im B2C-Bereich, fordert sichere, einfach handhabbare, aufwandsarme und reaktionsschnelle Instrumentarien für den Zahlungsverkehr. Während in den klassischen Industrieländern den Unternehmen und auch den Endkunden, zumindest auf nationaler Ebene, entsprechende Instrumentarien zur Verfügung stehen (z. B. Lastschriftverfahren, Online-Überweisung), stellt sich der internationale Zahlungsverkehr teilweise kompliziert und aufwendig dar. Im Euro-Raum ist zwar nach der Einführung von SEPA ab 01. August 2014 eine weitere Vereinfachung des Zahlungsverkehrs zu erwarten. Der Zahlungsverkehr mit Drittländern hingegen ist – je nach deren Infrastruktur nach wie vor aufwendig und teuer. Im B2C-Bereich kommt heute außer Überweisungs- und Lastschriftverfahren (teilweise nur national) die Bezahlung über Kreditkarten sowie in zunehmendem Umfang Online-Bezahlssysteme wie Paypal zum Einsatz.

2.2.2 These 2 - IKT-Technologien durchdringen zunehmend alle Arbeitsbereiche von Ingenieurinnen und Ingenieuren

Die außerordentlich schnelle Entwicklung der IKT-Technologien und die kontinuierlich zunehmende IKT-Durchdringung der Ingenieurarbeit bietet den Ingenieurinnen und Ingenieuren einerseits deutliche Arbeitserleichterungen, z. B. durch die Automatisierung von Prozessen in der Produktentwicklung und der Produktion oder in der administrativen Auftragsabwicklung, andererseits aber auch eine Vielfalt neuer Möglichkeiten zur Gestaltung des persönlichen Arbeitsumfelds. So unterstützen moderne IKT-Anwendungen bereits heute

- die Zusammenarbeit interdisziplinärer sowie gegebenenfalls örtlich getrennter und zeitlich unterschiedlich agierender Teams, z. B. bei der Produktentwicklung, bei der Konfiguration kundenspezifischer Produkte, bei der Gestaltung von Produktionsprozessen oder bei Wartungs- und Instandhaltungs- sowie Umbaumaßnahmen und
- die in hohem Maße zeit- und ortsunabhängige Zugänglichkeit von Wissen sowie im Vorfeld dessen Bereitstellung.

Da die IKT-Durchdringung am Arbeitsplatz und im privaten Umfeld weiter zunehmen wird und IKT sich bezüglich ihres Funktionsangebots sowie ihrer Bedienoberflächen immer schneller verändert, kann eine effiziente und die Anwender zufriedenstellende Nutzung der IKT nur erreicht werden, wenn diese eine Reihe von Anforderungen erfüllt. Hierzu gehören z. B.:

- weiterer Ausbau zur Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit (beispielsweise durch Breitbandaufbau im jeweiligen Land), verbunden mit einer gleichzeitig disziplinspezifischen Spezialisierung sowie klar definierter „Schnittstellen“ und Verantwortlichkeiten zwischen den einzelnen Disziplinen
- disziplinübergreifende, zeit- und ortsunabhängige Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Wissen
- hoch verfügbare, leicht bedienbare, auf Anwendergruppe und Einsatzbereich abgestimmte sowie in der Nutzung selbsterklärende IKT-Geräte und Anwendungen
- Standardisierung von Geräte- und Software-Schnittstellen und die Entwicklung intuitiv bedienbarer und adaptiver Bedienkonzepte sowie kontextsensitiver Ausbildungs-/Trainingssysteme und Online-Hilfe-Lösungen.

Die sinnvolle Nutzung des sich explosionsartig ausbreitenden Angebots an IKT-Werkzeugen erfordert vom Anwender das kontinuierliche kritische Überprüfen und gegebenenfalls Weiterentwickeln seiner eigenen Arbeitsweise im Hinblick auf deren Verbesserung durch den Einsatz geeigneter IKT-Anwendungen, ohne dabei jedoch in eine negative Abhängigkeit von diesen Werkzeugen zu geraten.

2.2.3 These 3 - Kundenanforderungen führen zur Dynamisierung der Produktlebenszyklen; gleichzeitig fördert die IKT-Entwicklung diese Dynamisierung

Durch gesellschaftliche Entwicklungen hin zur Individualisierung oder der Bildung von sozialen Milieus, durch Verdrängungswettbewerb auf gesättigten Märkten oder technologische Entwicklungen bei Werkstoffen und Produktionsverfahren verändern sich Kundenanforderungen in immer kürzeren Zeitabständen.

Für die Produktentwicklung, für die produzierenden Unternehmen und für den Handel bedeutet dies eine immer stärkere Dynamisierung der Produktlebens-

zyklen, aus denen eine Reihe von Anforderungen an die technischen und organisatorischen Prozesse in den Unternehmen resultieren.

Die Dynamisierung der Produktlebenszyklen stellt hohe Anforderungen an die Organisation der Produktentwicklungsprozesse in Unternehmen sowie der Anlaufprozesse für neue und Auslaufprozesse für „veraltete“ Produkte.

- Produktentwicklungsprozesse müssen, um schneller auf Marktanforderungen reagieren zu können, zügig und aufwandsarm durchführbar sein. Diese Anforderung lässt sich durch die permanente Aktualisierung der Stamm- und Bewegungsdaten bestehender Produkte unterstützen. Bei der Entwicklung neuer Produkte kann dann auf aktuelle Daten bestehender Produkte zurückgegriffen und auf dieser Grundlage der Entwicklungsprozess für die Neuprodukte beschleunigt werden.
- Die Produktentwicklungsprozesse sowie die Anlaufprozesse für neue und Auslaufprozesse für „veraltete“ Produkte sind durch Systematisierung und Vereinfachung zu verkürzen.
- Die Entwicklungsprozesse für verschiedene Produkte sind zu parallelisieren.

2.2.4 These 4 - Knappe Ressourcen erfordern IKT-basierte Technologien zum effizienten Ressourcenmanagement

Ohne die IKT lässt sich kein intelligentes Ressourcenmanagement realisieren. Die IKT kommt im Ressourcenmanagement für unterschiedliche Aufgaben zum Einsatz. Zu nennen sind hier beispielsweise:

- Verbrauchserfassung und -analyse mit Einrichtungen zur Überwachung und Erfassung der zeitlichen und örtlichen Verteilung von Rohstoffverbräuchen und deren Visualisierung. Als Beispiele lassen sich hier die Leitwarten zur Überwachung von Produktionsprozessen und ihren Ressourcenverbräuchen in Industrieunternehmen oder zur Überwachung der Verteilung aktueller Energieverbräuche bei Energieversorgern sowie in Privathaushalten der Einsatz intelligenter Stromzähler nennen.
- Prozesssteuerung, z. B. bei Energieversorgern die Verteilung von elektrischer Energie unter Einsatz von Smart-Grids zum optimierten Ausgleich von Nachfrage und Angebot. Oder bei Recyclingprozessen das Trennen von Produktkomponenten nach den eingesetzten Rohmaterialien und ihr automatisches Weiterleiten zum Recyclingprozess

unter Einhaltung von Rücknahme- und Aufbereitungsvorschriften.

- Auslösen von Alarmmeldungen bei Erreichen definierter Grenzwerte

Ingenieurinnen und Ingenieuren obliegt es unter anderem

- für die oben genannten Aufgaben geeignete Mess-, Analyse- und Steuerungsverfahren sowie die erforderlichen Geräte und Anlagen zu entwickeln, herzustellen und zu betreiben,
- die Entwicklung und Herstellung ressourcensparender Produkte (Leichtbau), z. B. durch den Einsatz generativer Produktionstechnologien voranzutreiben. Die Anwendung generativer Produktionstechnologien erlaubt die Herstellung von Produktstrukturen und -geometrien in einer Form, wie sie mit herkömmlichen Fertigungsverfahren nicht produzierbar wären,
- die Bereitstellung entsprechender Informationen, die Aufklärung von Kunden und Verbrauchern über Ressourcenverbräuche, die eingesetzten Materialien und ihre Sensibilisierung für den bewussteren Umgang mit knappen Ressourcen zu unterstützen.

2.2.5 These 5 - Wissen wird zu einem Produktionsfaktor; vorhandenes Wissen muss schnell, unkompliziert und sicher verfügbar sein

Die in dieser These formulierte Aussage impliziert für Ingenieurinnen und Ingenieure, aber auch für die Gesellschaft allgemein, die folgenden Anforderungen an den Umgang mit Wissen sowie an die IKT als Werkzeug für das Wissensmanagement.

- Ingenieure, aber auch die Gesellschaft allgemein, müssen sich bewusst sein, dass lebenslanges Lernen mehr denn je unumgänglich ist zur langfristigen Sicherung des eigenen Lebensstandards sowie zur Teilhabe an der Gesellschaft. Menschen, die nicht bereit sind, ihr Wissen durch ständiges Lernen weiterzuentwickeln, verlieren den Anschluss an technische und soziale Entwicklungen, im schlimmsten Fall mit der Folge des Verlusts eines qualifizierten Arbeitsplatzes sowie gegebenenfalls damit verbundener beruflicher und sozialer Isolation.
- Die Wissensgesellschaft benötigt Methoden und Technologien, um vorhandenes und neu hinzukommendes Wissen systematisch auf seine „Seriosität“ hin zu prüfen, zu klassifizieren und so zu

speichern, dass Wissensverluste auch langfristig vermieden werden. Heutige elektronische Speichermedien erfüllen diese Anforderung nicht! Des Weiteren muss jederzeit von jedem Ort aus auf das gespeicherte Wissen zugegriffen werden können. Für den unkomplizierten, sicheren Zugriff auf das Wissen und die effiziente Weiterverarbeitung sind Filter, semantische Suchverfahren sowie gegebenenfalls Expertensysteme gefordert, die Wissen vernetzen und dem Anwender in vernetzter Form darbieten. Ingenieure sind gefordert, mit ihren Kenntnissen zur Entwicklung der benötigten Methoden und Technologien beizutragen.

- Bereitstellung von Schutzmechanismen gegen unerlaubten Zugriff auf geschütztes Wissen, die gezielte Verbreitung von Falschinformationen oder die Manipulation der Wissensnutzer durch Lösungen zum Datenschutz, zur gesicherten Identifikation der Wissensherkunft und Wissensquellen sowie durch konsequente Durchsetzung von Gesetzen gegen Wissensmissbrauch, z. B. durch Manipulation, Korruption.

2.2.6 These 6 - Politische, wirtschaftliche und unternehmerische Instabilitäten erfordern IKT basierte Lösungen zur Szenarienbildung und Bewertung der Auswirkungen

Latent existierende Instabilitäten bezüglich politischer, wirtschaftlicher, geophysikalischer sowie klimatischer Entwicklungen stellen Risiken für Unternehmen und die Bevölkerung einer betroffenen Region dar. Sie müssen daher frühzeitig erkannt sowie bezüglich ihrer weiteren Entwicklung und der zu erwartenden Auswirkungen bestmöglich prognostiziert werden. Ingenieure aller Fachrichtungen gehören zu demjenigen Personenkreis, der aufgrund seiner beruflichen Kenntnisse dazu in der Lage ist, gegebenenfalls in Zusammenarbeit mit anderen Fachrichtungen, Verfahren und Werkzeuge zum frühzeitigen Erkennen von Instabilitäten (z. B. Frühwarnsysteme für Erdbeben, Tsunamis, Wirbelstürme) sowie Einrichtungen zur Reduzierung/Eliminierung von Instabilitäten zu entwickeln (z. B. Sperrwerke gegen Überflutungen, Reduzierung CO₂-Ausstoß). Des Weiteren sind Ingenieure die Leistungsträger, wenn die Entwicklung von Simulationsmodellen zur Ermittlung und Bewertung der Auswirkungen von Instabilitäten gefordert ist.

Wie die Wirtschaftskrise von 2008/2009 gezeigt hat, gibt es noch erheblichen Nachholbedarf bei Frühwarnsystemen, die rechtzeitig auf Absatzeinbrüche, zu erwartende Produktionsrückgänge und/oder Lie-

ferausfälle hinweisen. Auch hier sind Ingenieure gefordert, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, um beispielsweise bei Produktionsrückgängen den Unternehmen die Variabilisierung von Fixkosten zu ermöglichen.

2.2.7 These 7 - IKT-Lösungen helfen die Auswirkungen des demografischen Wandels zu beherrschen

Der demografische Wandel wirkt sich auf Ingenieur-tätigkeiten in unterschiedlicher Weise aus. Zum einen ist der Ingenieur gefordert, Produkte für Anwendungsbereiche zu entwickeln, die durch den demografischen Wandel an Bedeutung gewinnen, z. B. hochautomatisierte Haustechnikrichtungen, Assistenzsysteme für „Handicapped People“ sowie medizintechnische Geräte. Für diese Produktgruppen gilt es, die zukunftsorientierten Anforderungen zu erfassen und auf die jeweilige Zielgruppe ausgerichtete Produkte zu entwickeln (Stichwort: Ambient Assisted Living). Ein Beispiel aus dem Automobilbereich: Die Gruppe der über 60-Jährigen als Neuwagenkäufer wächst ständig. Für die Kfz-Technik bedeutet dies u. a. Ausbau des Angebots an elektronischen Assistenzsystemen für mehr Komfort und Sicherheit beim Autofahren.

Die IKT erleichtern die Erfüllung dieser Anforderungen, da sie die Möglichkeit bietet, Produkte zu entwickeln, die von ihrer Grundstruktur und ihren Bauteilen her quasi identisch aufgebaut sind und die ihre zielgruppenspezifischen Funktionalitäten erst über unterschiedliche Software-Versionen implementiert bekommen. Darüber hinaus ermöglicht die IKT die Implementierung von Funktionalitäten, die ohne IKT-Nutzung nicht oder nur zu weitaus höheren Kosten bzw. nutzerunfreundlichen Bauweisen (schwer, groß) realisiert werden könnten.

Zum anderen stellt der demografische Wandel neue Anforderungen an die Unternehmen bezüglich Personalentwicklung, Arbeitszeitmodellen und Arbeitsplatzgestaltung. Hinsichtlich einer permanenten Weiterqualifizierung (vgl. These 5) sind einerseits die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter selbst gefordert, sich kontinuierlich weiterzubilden. Andererseits obliegt es jedoch den Unternehmen, auch für ältere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Personalentwicklungsmöglichkeiten anzubieten. Hinsichtlich der Flexibilisierung der Arbeitszeitmodelle gilt es, die bestehenden Ansätze auszubauen. Neue Anforderungen an die Gestaltung der Arbeitsplätze leiten sich aus der Notwendigkeit ab, dass diese, mehr als in der Vergangenheit, darauf ausgelegt sein müssen, die Gesundheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nicht über Gebühr zu beanspruchen. Dies lässt sich

bei körperlich belastenden Tätigkeiten z. B. durch den Einsatz geeigneter Hilfsmittel (Hebevorrichtungen etc., Ambient Assisted Working) oder durch Automatisierung des Fertigungsprozesses (IKT-Einsatz!) erreichen.

2.2.8 These 8 - IKT-basierte Lösungen unterstützen dabei, die Wirkungszusammenhänge, die zum Klimawandel führen, darzustellen und Lösungskonzepte zu seiner Beherrschung zu entwickeln.

Ingenieurinnen und Ingenieure schaffen die Voraussetzungen, um mit dem Klimawandel umgehen zu können. Ihre Ansatzpunkte hierbei sind breit gefächert. So unterstützen sie z. B. durch die Entwicklung und Herstellung geeigneter Messinstrumente die Erforschung der Ursachen für den Klimawandel sowie die Erstellung von Prognosen bezüglich seiner weiteren Entwicklung. Durch intelligente und vernetzte IKT-Werkzeuge können logistische Aufgaben effizienter gelöst werden und so Warenströme zielgerichteter gelenkt und einzelne Verkehrsträger effizienter eingesetzt werden. Dadurch wird die Belastung des Klimas durch verkehrsbedingte Emissionen reduziert. Beispiel „Luftverkehr“: Es gibt noch kein angewandtes Verfahren, um Warteschleifen oder Umwege zu reduzieren.

Die Entwicklung von Geräten, Maschinen und Anlagen mit geringen Energieverbräuchen und Emissionen und damit geringerer Klimabelastung ist ebenfalls als Ingenieurverdienst anzusehen. Erzielt werden diese Verbesserungen u. a. durch den Einsatz intelligenter Steuerungen sowie neuer Werkstoffe und Produktionsverfahren.

Der dritte Bereich, in dem Ingenieurinnen und Ingenieure bei der Bewältigung des Klimawandels gefordert sind, ist das Erarbeiten von Lösungen zur Reduzierung der Auswirkungen durch den Klimawandel bedingter Naturereignisse, z. B. überdurchschnittlich häufige und starke Überschwemmungen oder Stürme. Zu nennen sind hier u. a. Hochwasserschutzanlagen an Gewässern (Messeinrichtungen zur kontinuierlichen Wasserstandsermittlung, Alarmeinrichtungen oder auch Schutzbauten), sturmsichere Gebäude und Infrastruktureinrichtungen.

2.2.9 These 9 - Mobilität der Zukunft erfordert IKT-Lösungen im Produkt sowie produkt- und verkehrsträgerübergreifende Kommunikation

Nachdem zumindest in den Industrieländern nicht davon auszugehen ist, dass ein nennenswerter Anteil der Bevölkerung ohne Not auf die Annehmlichkeiten des Individualverkehrs verzichten wird, sind Ingenieure gefordert, Lösungen zu entwickeln, die einerseits die von der Bevölkerung gewünschte Mobilität ermöglichen und andererseits die verkehrsbedingten Umweltbelastungen durch Lärm- und Schadstoffemissionen, die Ressourcenverschwendung (Energieverschwendung), die Zeitverschwendung durch Verkehrsstaus sowie die Unfallhäufigkeit und ihre Folgekosten erheblich reduzieren.

Die Ansatzpunkte hierfür sind vielfältig und lassen sich wie folgt gliedern:

- Ausbau einer umweltverträglichen Mobilität, z. B. durch ressourcenschonendere Fahrzeuge und Verkehrskonzepte. Erreicht werden kann dies u. a. durch verstärkten IKT-Einsatz bei Fahrzeugantriebs- und Steuerungslösungen und bei der Herstellung der Fahrzeuge (Leichtbau).
- bessere Vernetzung unterschiedlicher Verkehrsträger und dadurch bessere Koordination und Reduzierung der Verkehrsströme
- Ausbau bewohner- und mobilitätsfreundlicher Städte durch anforderungsgerechte Verteilung von Infrastruktureinrichtungen wie Sport-, Kultureinrichtungen oder Einkaufsmöglichkeiten in Kundennähe
- Produktion der Güter des täglichen Bedarfs in Verbrauchernähe

2.2.10 These 10 - Mit IKT liegt ein Werkzeug zur Entwicklung von Produkten vor, die die Lebensqualität und Gesundheit verbessern

Die Verfügbarkeit moderner, hochleistungsfähiger IKT und ihre Nutzung in medizintechnischen Geräten zu Diagnosezwecken, zur Therapie oder für Präventionsmaßnahmen und zur Gesundheitserziehung verschafft den Ingenieurinnen und Ingenieuren die Möglichkeit, einen Beitrag zur Verbesserung der Gesundheit und somit der Lebensqualität der Bevölkerung zu leisten. So lassen sich z. B. über preiswerte Verfahren und Technologien Reihenuntersuchungen zur Diagnose bestimmter Erkrankungen durchführen, bei denen durch das frühzeitige Erkennen die Heilungschancen überdurchschnittlich hoch sind. Durch die frühzeitige Behandlung werden bei geringeren Behandlungskosten der Gesundheitszustand und die Lebensqualität der Betroffenen meist deutlich verbessert. Des Weiteren ermöglicht die IKT z. B. die Entwicklung elektronisch gesteuerter Prothesen und Assistenzsysteme für unterschiedliche Einsatzfälle, die bei den nutzenden Personen durch Wiedergewinnung neuer persönlicher Freiräume zu einer deutlichen Erhöhung der Lebensqualität führen.

IKT-Lösungen können auch zur Vermeidung unnötiger Untersuchungen beitragen, indem durch entsprechende Auswertung vorhandener, oder speziell erhobener, Daten frühzeitig mögliche Erkrankungen erkannt werden.

3 Ingenieurarbeit in den Phasen des Produktlebenszyklus von der Produktentwicklung bis zum Recycling und zur Refabrikation

Das Autorenteam dieser Publikation geht davon aus, dass Ingenieure heute und auch in Zukunft in den folgenden – auf die Produkte bezogenen – Lebenszyklusphasen arbeiten:

3.1 Produktentwicklung

In dieser Lebenszyklusphase planen, konzipieren und entwickeln Ingenieure Produkte, deren Herstellung und Vertrieb den Hauptzweck des Unternehmens darstellt. Dies können komplexe Produktions- oder verfahrenstechnische Anlagen, Maschinen, Maschinen- und Automatisierungskomponenten oder Softwareprodukte, aber auch Konsumgüter sein. Kennzeichnend für diese Phase ist die Nutzung von CAx-Systemen¹, Produktdatenmanagement-Systemen und anderen Produktentwicklungswerkzeugen. Die Produkte werden entweder kundenspezifisch, z. B. als Unikat nach Spezifikation durch den Kunden, oder als Serienprodukt entwickelt.

3.2 Fabrikplanung

In dieser Phase planen Ingenieure allgemein die Produktionsabläufe und -mittel, mit denen die Produkte hergestellt werden sollen. Hierzu gehören die Planung und der Bau von Produktions- und Materialflusseinrichtungen, Gebäuden oder die technischen Gebäudeausrüstungen sowie Arbeiten, in denen Ingenieure neue Fertigungsprozesse für die Produkte von morgen planen und entwickeln. Charakteristisch ist für diese Phase der Einsatz von Werkzeugen der Digitalen Fabrik (VDI 4499 Blatt 1).

¹ CA steht für „Computer aided“ und bezeichnet rechnergestützte Autorenwerkzeuge zur Erstellung von Modellen wie Geometriemodellen (CAD, Computer Aided Design) oder Simulationsmodellen (CAE, Computer Aided Engineering).

3.3 Produktion (Betrieb)

In dieser Phase erfolgt die Herstellung des Erzeugnisses. Aus Gründen der Vereinfachung werden im Rahmen dieses Dokuments auch die Inbetriebnahme und virtuelle Inbetriebnahme (VDI 4499 Blatt 2) von Produktionseinrichtungen und deren Anlauf bis zur Serienproduktion zu dieser Phase gezählt. Kennzeichnend ist die Nutzung von ERP²- und MES³-Systemen (VDI 5600 Blatt 1 bis Blatt 5).

3.4 Instandhaltung

Nach der Inbetriebnahme von Produktionsanlagen bzw. technischen Einrichtungen gilt es, deren funktionsfähigen Zustand zu erhalten und bei Störungen bzw. Ausfall wieder herzustellen. Diese Aufgaben obliegen der Instandhaltung. Die Instandhaltung gliedert sich in die vier Maßnahmengruppen (DIN 31051):

- Wartung
- Inspektion
- Instandsetzung
- Verbesserung

Die Wartung umfasst Aktivitäten zur Verzögerung des vorhandenen Abnutzungsvorrats einer Produktionsanlage oder technischen Einrichtung. Der Inspektion obliegt die Feststellung und Beurteilung des aktuellen Zustands einer Produktionsanlage oder technischen Einrichtung sowie das Festlegen der erforderlichen Maßnahmen zur Sicherstellung der definierten künftigen Nutzung. Unter „Verbesserung“ fallen technische und administrative Maßnahmen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit bzw. Funktionssicherheit einer Anlage, ohne die von ihr geforderte Funktion zu verändern. Aus Gründen einer möglichst hohen Verfügbarkeit investitionsintensiver Betriebsmittel geht der Trend hin zu bedarfsorientierter Instandhaltung, was wiederum IKT-Einsatz bedingt. Durch Methoden des Condition Monitorings können so bevorstehende Ausfälle von Anlagenkomponenten

² Enterprise Resource Planning

³ Manufacturing Execution System

durch IKT-Werkzeuge prognostiziert werden und geeignete Wartungsfenster für Maschinen und Anlagen eingeplant werden.

Aufgrund des steigenden Wettbewerbsdrucks und der daraus resultierenden steigenden Anforderungen an die Anlagenproduktivität gewinnt die Instandhaltung sowohl für Anlagenhersteller wie auch für -betreiber an Bedeutung.

3.5 Aftersales-Service

Als Aftersales-Services werden technische und kaufmännische Dienstleistungen (Kundendienst) nach dem Kauf von Produktionsanlagen oder technischen Einrichtungen verstanden. Hierzu zählen z. B. Definition und Vermarktung von Service-Produkten (Verkauf, Leasing, Finanzierung), Service-Engineering (u. a. Lösungen, Upgrades, Modernisierungen), Ersatzteilvertrieb und Ersatzteillogistik, Instandhaltung (Inspektion, Wartung, Reparatur), Mitarbeiter- und Kundenschulung. Der Aftersales-Service gewinnt als Instrumentarium zur Angebotsdifferenzierung und Kundenbindung bei Investitionsgütern und bei Consumer-Produkten zunehmend an Bedeutung und wird durch IKT-Einsatz unterstützt.

3.6 Recycling/Refabrikation

Der Begriff „Recycling“ ist in Deutschland in § 3 Abs. 25 des Gesetzes zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz KrWG) definiert.

Das Wirtschaften in Kreisläufen bildet ein Leitbild für die Produktgestaltung im 21. Jahrhundert [4]. Es zielt auf den effizienten Einsatz und den verantwor-

tungsvollen Umgang mit natürlichen Ressourcen ab, der ein weitest mögliches Schließen und eine hoch qualifizierte Realisierung von Stoff- und Produktkreisläufen voraussetzt.

Abhängig vom Wertschöpfungsniveau lassen sich beim Recycling von Produkten oder deren Bauteilen vier Qualitätsstufen unterscheiden:

- Produktgestalt wird beibehalten (Produktrecycling):
 - Wiederverwendung: gleicher Verwendungszweck (Beispiel: Pfandflasche)
 - Weiterverwendung: anderer Verwendungszweck (Beispiel: Senfglas)
- Produktgestalt wird aufgelöst (Materialrecycling):
 - Wiederverwertung: gleicher Produktionsprozess (Beispiel: Altglas)
 - Weiterverwertung: anderer Produktionsprozess (Beispiel: Altpapier)

Refabrikation (engl. remanufacturing) steht für die industrielle Aufarbeitung von Automobilbaugruppen (z. B. Motoren, Anlasser, Getriebe) zu Austauschersatzteilen. Auch Investitionsgüter, Maschinen, Anlagen sowie eine Vielzahl anderer Produkte werden industriell aufgearbeitet.

Den Ingenieuren obliegt die Aufgabe – in Zukunft mehr denn je – zur Erfüllung des Nachhaltigkeitsparadigmas sowohl die Produkte als auch die Produktionsanlagen so zu konzipieren, dass sie nicht zu Abfall werden, sondern nach Gebrauch die enthaltenen Rohstoffe wieder in gleicher Qualität zu möglichst einhundert Prozent erneut einsetzbar sind und damit eine dauerhafte Kreislaufwirtschaft unterstützen (Cradle-to-cradle-Ansatz) [5].

4 IKT-Einsatz in den Produkten der Zukunft

Im Folgenden wird aufbauend auf den oben genannten Thesen beispielhaft skizziert durch welche Eigenschaften die Produkte der Zukunft gekennzeichnet sein werden, die Ingenieure konzipieren, planen, entwickeln, herstellen, warten und recyceln werden.

Die Durchdringung sämtlicher Bereiche des Privat- und Geschäftslebens mit Informations- und Kommunikationstechnik bedingt, dass Produkte in immer kürzerer Zeit entwickelt bzw. weiterentwickelt werden. Der steigende Einsatz eingebetteter Systeme in Produkten wird dazu führen, dass sie sich zukünftig selbstständig konfigurieren und an sich ändernde Einsatzbedingungen anpassen können. Dabei wird sich sowohl die Komplexität der Produkte erhöhen, als auch ihre Vernetzung. So ist anzunehmen, dass mit dem Internet Protokoll Version 6 (IPv6) jedes Gerät bzw. jedes eingebettete System eine IP-Adresse erhalten kann und damit der Zugriff über Internettechnologien möglich wird. In der Industrie wird dies aktuell als vierte industrielle Revolution bezeichnet („Industrie 4.0“⁴).

IKT wird auch dazu führen, dass Produkte „lernfähig“ werden, das heißt, dass sie Parameter und Laufzeiten speichern und sich so den Betriebsbedingungen optimal anpassen. Ein Beispiel dafür ist NEST, ein Heizungsthermostat, entwickelt von einem ehemaligen Apple-Mitarbeiter. Bei NEST handelt es sich um einen Temperaturregler und gleichzeitig um einen Mini-Computer, der von den Gewohnheiten seiner Nutzer lernt und mit Sensoren ausgestattet ist, die bemerken, wann jemand im Raum ist und sich das Wetter ändert. Zu Beginn der Nutzung müssen die Anwender noch manuell die Temperatur einstellen, danach soll sich das Gerät jedoch das Heizverhalten der Kunden merken und eigenständig ausführen. Außerdem kann NEST per WLAN von jedem beliebigen Computer oder Smartphone aus gesteuert werden.

Zukünftig werden Produktprobleme über Fernwartung vom Rechner aus behoben und damit der Vor-Ort-Einsatz des Reparatur- und Wartungspersonals deutlich abnehmen. Durch den steigenden Softwareanteil in den Produkten und die vollständige Vernetzung werden „Standardprodukte“ kundenindividuell anpassbar und zu „lernenden“ Produkten (siehe oben). Sie werden dadurch länger – aber mit unterschiedlicher Funktionalität – im Einsatz sein. Da sie selbst wissen, aus welchen Materialien sie bestehen, sind sie maschinell und ressourcenschonend recyclingfähig.

Die Entwicklung solcher Produkte ist nur noch in interdisziplinären Teams möglich. Dies bedingt, dass sich das Arbeitsumfeld, die Stellenbeschreibungen, Arbeitszeit etc. verändern werden. Trotzdem wird der Mensch im Mittelpunkt des Geschehens bleiben. Durch IT-Hilfsmittel reduziert sich jedoch für ihn die Komplexität der Aufgaben. Das Verhältnis von eingesetzter Hard- zu Software wird sich weiter zugunsten eines höheren Softwareanteils verschieben. Da auf die Software weltweit zugegriffen werden kann, verändert sich das Wartungs- und Reparaturverhalten zukünftig deutlich. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die derzeit noch bestehenden Security-Probleme gelöst sind. Intelligente individuelle Verschlüsselung und „Private-Clouds“ sind schon heute leicht realisierbar und werden zukünftig so sicher sein wie heutige betriebliche Sicherheitseinrichtungen.

Betrachtet man unsere größten Industriezweige Maschinenbau, Elektroindustrie, Automobilindustrie, Chemische Industrie und verarbeitendes Gewerbe [6], so wird sich der Softwareanteil, die Vernetzung, Komplexität und Wiederverwertung deutlich erhöhen. Gleichzeitig werden die IT-Hilfsmittel die Arbeit der Werker unterstützen und vereinfachen (Stichworte: SaaS⁵, PaaS⁶, IaaS⁷). Security wird durch Verschlüsselung und Security-Konzepte erreicht werden.

⁴ www.vdi.de/industrie40

⁵ Software as a Service

⁶ Platform as a Service

⁷ Infrastructure as a Service

5 IKT-Werkzeuge in den Phasen des Produktlebenszyklus

Dieser Abschnitt gibt Hinweise darauf, wie sich die IKT-basierten Werkzeuge entwickeln werden, mit denen sie die Produkte der Zukunft bearbeiten; bezogen auf die Lebenszyklusphasen von der Produktentwicklung bis zum Recycling.

Grundvoraussetzung zur Verwendung zukünftiger IT-Werkzeuge ist ein hochdurchsatzfähiges, zuverlässiges, hochverfügbares, robustes, möglichst echtzeitfähiges Internet. Die Forderung danach steht seit Jahren im Raum [7].

An die Ingenieure werden daher drei wesentliche Aufgaben in Zusammenhang mit IKT-Werkzeugen gestellt:

- Sie müssen richtiges Werkzeug auswählen und beherrschen können.
- Sie müssen die Ergebnisse interpretieren und Fehler erkennen können.
- Sie müssen sich permanent um die eigene Weiterbildung kümmern, um auch in Zukunft die richtigen Werkzeuge auswählen zu können.

5.1 Produktentwicklung

Die effiziente Anwendung von Lösungen der Virtuellen Produktentstehung (VPE) ist eine Schlüsselgröße zur Entwicklung komplexer, technischer Systeme [8; 9]. Prozessstandards und Werkzeuge der Virtuellen Produktentstehung spielen somit eine kennzeichnende Rolle in der täglichen Ingenieurspraxis. So müssen gerade in der Kollaboration die Entwickler eine Vielzahl von Prozessen bedienen und mit unterschiedlichen digitalen Werkzeugen arbeiten können.

Diese Vielzahl ist gleichzeitig überwältigend und herausfordernd. Im Rahmen der digitalen Produktentwicklung lassen sich die Werkzeuge zwar immer weniger trennscharf in einzelne Gruppen einteilen, die für die Produktentwicklung von Bedeutung sind. Neben den Systemen für das Produktdatenmanagement [10 bis 12] sind insbesondere die Autoren- und Simulationssysteme von zentraler Bedeutung. Darüber hinaus spielt die virtuelle immersive Darstellung von Produktmodellen eine wichtige Rolle: Spezielle Datenaustauschplattformen dienen dem Informationsaustausch zwischen (internen und externen, gegebenenfalls global verteilten) Kollaborationspartnern aus unterschiedlichen Standorten und Disziplinen.

Anforderungen werden oft in Office-Werkzeugen, zunehmend aber auch in speziellen, u. a. modellbasiert arbeitenden IT-Werkzeugen verwaltet. In der Systemgestaltung sind CAx-Werkzeuge vom funktionalen Entwurf bis zur detaillierten geometrischen oder mechatronischen Ausgestaltung heutiger Standard. Digital gestütztes Varianten-, Konfigurations- und Stücklistenmanagement ist notwendig, um diverse Prozesse in der Vermarktung, der Produktentwicklung, der Produktion und dem Einkauf zu steuern. Visualisierungslösungen, z.B. basierend auf Digital Mock-ups (DMU), Virtual Reality (VR) oder Augmented Reality (AR) unterstützen Entscheidungsprozesse (virtuelle Bemusterung), Bauraumanalysen oder Montagesimulationen.

Erwartungen

Es ist bereits heute zu beobachten, dass ein fließender Übergang zwischen der Produktentstehung und der Produktion entsteht, der an diversen Stellen noch Potenzial und Bedarf zur Systematisierung hat. Dies gilt einerseits für die Durchgängigkeit zwischen PDM⁸/PLM⁹ und PPS¹⁰/ERP und andererseits für die Anwendung von Rapid-Manufacturing bzw. Rapid-Prototyping-Verfahren, die sowohl in der Produktentstehung (z. B. 3-D-Druck für Prototypen), als auch in der Fertigung (z. B. für Kleinserien und Einzelteilproduktion) zunehmend Anwendung finden. In beiden Fällen ist die Informationsverarbeitung für das Engineering ein kritischer Prozessbestandteil.

Die folgenden Absätze geben eine Übersicht darüber, wie sich die oben beschriebenen Trends auf die Methodik und Werkzeuge in der virtuellen Produktentstehung disziplinübergreifend auswirken. Danach wird im Einzelnen auf die verschiedenen Werkzeugkategorien Bezug genommen.

Produkte werden virtueller: Es ist eine Steigerung der virtuell aufgebauten Wertschöpfung durch zunehmende Software-Anteile (IKT-Anteile) in technischen Systemen zu beobachten. In diesem Zuge ergibt sich eine Verlagerung von mechanikgetriebenen Prozessen zu mehr softwaregetriebenen Prozes-

⁸ Product-Data-Management

⁹ Product-Lifecycle-Management

¹⁰ Production Planning and Control System

sen. Am Beispiel der Heizungselektronik zeigt sich, dass bisher eher von hardwarenaher Softwareentwicklung gesprochen werden konnte, mittlerweile aber eine softwarenahe Hardware-Abstimmung angestrebt wird. Damit verändert sich die Natur der Entwicklungsprozesse nachhaltig in Bezug auf die Prozesse inklusive einzelner Phasen, Methoden, IT-Werkzeuge und allgemein bezüglich der Agilität.

Systems Engineering: Der zunehmende Anteil an Software ermöglicht eine Steigerung der Vernetzungsgrade und der Informationsverarbeitung von Systemen sowohl innersystemisch als auch systemübergreifend. Diese Möglichkeiten sowie die zunehmende Autonomie von Systemen müssen in der Entwicklung fassbar gemacht werden. Das Systems Engineering bietet dazu bereits Ansätze aus den 1960er-Jahren [13] die mittlerweile um neue Aspekte ergänzt wurden. Es liegt nahe von Systems of Systems (SoS) zu reden und Embedded Systems (eingebettete Software-Systeme) als Normalfall zu akzeptieren [14; 15; ISO/IEC 19770-2; ISO/IEC/IEEE 16326] Dies unterstreicht die interdisziplinären Zusammenhänge zwischen IKT, E/E (Elektrik/Elektronik) und Mechanik in der Produktentstehung. Ein sehr wichtiger Aspekt ist schließlich die Nachvollziehbarkeit (Traceability) von Änderungsständen und Produktkonfigurationen im Entwicklungsprozess bzw. über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg.

Modellbasiertes Entwickeln: Im Rahmen des oben beschriebenen Systems Engineerings wird auch die modellbasierte Entwicklung erneut diskutiert. Dabei geht es um die grafische/visuelle Modellierung fachlicher und technischer Zusammenhänge zunächst auf Systemebene, dann aber auch tiefer gehend bis hin zu simulationsfähigen Multi-Physik-Modellen. Damit werden unterschiedliche Modellierungsaufgaben im Produktentstehungsprozess adressiert, sodass eine disziplinübergreifende Systemmodellierung ermöglicht wird. Wichtig ist an dieser Stelle, dass es dabei weit über die Geometriemodellierung (heutiger Standard) hinausgeht und dass zudem IT-Entwicklungsmethoden mit klassischen Ingenieurmethoden zusammenwachsen. Als modellbasierte Methoden seien an dieser Stelle stellvertretend die SysML/UML und das Model-based Systems Engineering genannt [16; 17]. Seit einigen Jahren wird zudem an der modellbasierten Entwicklung der Benutzungsschnittstellen gearbeitet um die Komplexität und Heterogenität der eingesetzten Plattformen und Visualisierungslösungen für den Ingenieur handhabbar zu machen [18; 19].

Visualisierung: Die Visualisierung von 3-D-Geometrien war in den Ursprüngen im Engineering durch das CAD-Design getrieben. Mittlerweile wird

3-D-Visualisierung auch für Nicht-CAD-Anwender in diversen Unternehmensbereichen wie Einkauf oder Instandhaltung zu einer hilfreichen Methode, um schnell einen Eindruck von Produktkomponenten zu erlangen. Der technologische Fortschritt deutet darauf hin, dass 3-D-Visualisierung kurz- bis mittelfristig als „Commodity“ in Geschäftsprozessen produzierender Unternehmen Einzug findet. Webbasierte Visualisierungstechniken, Visualisierung von 3-D-Modellen auf mobilen Endgeräten und das Visualisieren von eindeutigen Geometrien, Punktwolken aus 3-D-Scans, PMI (Product and Manufacturing Information) und Lifecycle-Informationen verschmelzen auf Basis von IKT-Ressourcen.

Lifecycle-Services und Engineering-Services: Systemanbieter und Komponentenhersteller erschließen zunehmend den kompletten Lebenszyklus ihrer Produkte und bieten im Rahmen bzw. gestützt durch entsprechende Geschäftsmodelle (verfügbarkeits-, ergebnis-, funktion- oder gar fähigkeitsorientiert) und Betreibermodelle zusätzlich umfassende Dienstleistungen an. Dazu zählen neben klassischen Ersatzteilservices die Übernahme des kompletten Instandhaltungsbetriebs komplexer Systeme oder Anlagen [20]. Das Design von Geschäftsmodellen gewinnt dadurch auch für das Engineering an Bedeutung und beeinflusst Entwicklungsprozesse und Methoden. Aktuell sind erst wenige marktreife Modellierungswerkzeuge vorhanden. Mittelfristig steht jedoch ein breites Angebot in Aussicht. Auch hier spielt die IKT eine Rolle bei der Kollaboration in Entwicklungs- und Betreiberkonsortien.

Produkte werden individueller: Durch Produktkonfiguration gemäß Kundenwunsch und durch Lifecycle Services (insbesondere Rekonfiguration und Redesign durch Instandhaltungsdienstleistungen) werden Produkte immer individueller, sodass sie schlussendlich als einzelne Instanzen informationstechnisch erfasst werden müssen. Dabei geht es um die Erfassung von tatsächlich vorliegenden Bauzuständen, das heißt Konfigurationen [21 bis 23] und die Erfassung der Produktzustände im Sinne des Condition Monitoring (Zustand in Abhängigkeit von Gebrauch und Verschleiß, Alterung etc.). Die Verfolgung einzelner Instanzen im Feld (Dokumentation, Sensordaten, Betriebsdaten) wird durch neue IKT und durch entsprechende Geschäftsmodelle prinzipiell möglich, verlangt aber neue Designs. Hinzu kommt, dass Produkte auch ein eigenes Gedächtnis bekommen können, wenn sie in internen Speichern Daten aus ihrem Lebenszyklus aufnehmen. Dies bestärkt auch die Aspekte der Autonomie von Produkten und fordert die Beherrschung des zunehmend autonomen Produktverhaltens mitsamt vorgelagerter Simulation desselben.

Datenanalysetechniken: Die Menge der Informationen, die im Produktlebenszyklus verwaltet werden müssen, steigt durch die oben beschriebenen Randbedingungen rasant an. Das Stichwort „Big Data“ drückt dies aus. Methoden zur Online-Datenverarbeitung (Analyse, Modellbildung, Verdichtung, Reporting), effiziente Mechanismen zur Vernetzung, Verteilung, Steuerung und Speicherung großer Datenbestände sind auf die Anwendungsfälle des Engineering (Lifecycle-Service, Instandhaltung) anzupassen. Daraus ergeben sich wesentliche Anforderungen an die Sicherheit und Nachvollziehbarkeit der engineeringrelevanten Informationen aus diversen Systemen in der PDM/PLM- und ERP-Bebauung.

Nachweispflichten: Die „Verpflichtung zur Nachhaltigkeit“ im Allgemeinen (siehe Thesen) bringt Anforderungen an die sogenannte Compliance, das heißt die Verträglichkeit der Produktentwicklung, -herstellung und -nutzung hervor. Weiterhin ergeben sich Anforderungen an die Ablösung von Produkten und schlussendlich an die Trennung von Werk- und Schadstoffen. Zu Lösungsangeboten sind Kennwerte zum Werkstoffeinsatz, zu Schadstoffen bzw. kritischen Materialien und Emissionen auszuweisen. Dies geschieht durch Dokumentation von Prozessen und Lifecycle-Analysen. Die Komplexität dieser Aufgabe steht u. a. in Verbindung mit dem Anforderungsmanagement und wird zunehmend aufwendiger (Traceability), sodass vorzugsweise mit geeignetem Informationsmanagement relevante Kennwerte erfasst, verdichtet und berichtet werden können. In diesen Prozess sind Entwickler, das Management (Entscheider) und externe Prüfstellen eingebunden. Eine wichtige Anforderung ist der Schutz dieser Daten vor Manipulation, damit Technikfolgeschäden so gering wie möglich sind.

Digitale gestützte Entwicklungsmethodik: Die zuvor beschriebenen Aspekte wirken sich zwangsläufig und nachdrücklich auf die Entwicklungsmethodik und das Datenmanagement aus. Bedarf besteht nach agilen Vorgehensweisen (vgl. Scrum), transparenten Entwicklungsprozessen (vgl. V-Modell XT, PRINCE2, Automotive-PEP, ITIL Practices) und Prozess-/Organisationsreifegraden (vgl. Automotive SPICE, CMMI). Deutlich wird das methodische Zusammenwachsen insbesondere heute schon dort, wo Unternehmen die Prozessverantwortung für das Engineering (inklusive Geschäftsmodell und auch Instandhaltung/MRO¹¹) aus den Einzeldisziplinen herausheben und bewusst bestärken. Dieser Ansatz kann mittelfristig in der Industrie Schule machen, sodass daraus auch neue Anforderungen an die Ent-

wicklungswerkzeuge gestellt werden. Kollaboration intern sowie mit Externen über Disziplinen und Standorte hinweg wird durch globales Engineering zwingend notwendig (Näheres siehe [2]).

Übergreifende Anforderungen

Aus den Aspekten des vorherigen Abschnitts ergeben sich neue Anforderungen und Verschiebungen in der Priorisierung. Exemplarisch können folgende Anforderungen genannt werden:

- lebenszyklus-übergreifendes Varianten- und Konfigurationsmanagement inklusive der Integration von Software Configuration Management/ Software Content Management und Konfigurationsmanagement aus dem klassischen Engineering
- Integration von CASE¹² und System Engineering Tools in PDM/PLM
- performante modellbasierte Systems Engineering-Werkzeuge
- digital unterstützte Kollaboration im Engineering mit geringen Ramp-up-Aufwänden
- Visualisierung „an jedem Arbeitsplatz“ im gesamten Produktlebenszyklus auch mobil und jederzeit
- horizontale und vertikale Integration von Prozessen, Methoden, Werkzeugen mittels IT-Infrastruktur: zwischen Disziplinen/Gewerken und in Richtung Management
- lokale und verteilte Arbeit inklusive revisionssicherer Ergebnisreintegration in das Konfigurationsmanagement
- Engineering Werkzeuge als “Hosted Service”
- „Continuous Builds”

5.2 Fabrikplanung

Dieser Abschnitt stellt die für die Fabrikplanung relevanten IKT-Entwicklungen vor und zeigt exemplarisch auf, wie sie die aus den in Abschnitt 2 skizzierten Megatrends resultierenden Anforderungen erfüllen. Eingegangen wird in den nachfolgenden Ausführungen auf IKT-Entwicklungen in sieben Bereichen, die für die Fabrikplanung relevant sind.

¹¹ Maintenance, Repair and Overhaul

¹² Computer-Aided Software Engineering

■ Daten-/Informationserfassung

Die Erfassung von Daten wird in den nächsten Jahren weiterhin komfortabler, sicherer, schneller und präziser werden. Unterstützt werden wird dies in erster Linie durch folgende Entwicklungen:

- Verfügbarkeit kostengünstiger, präziserer Sensoren zur direkten Erfassung von Betriebs-/Anlagen- oder auch Qualitätsdaten (Messdaten) im Produktionsprozess bzw. am Entstehungsort. In Verbindung mit kostengünstigen, sicheren und performanten Übertragungseinrichtungen lassen sich auch engmaschige Überwachungsnetze für Produktionseinrichtungen und Gebäude wirtschaftlich realisieren.
- preisgünstige, zuverlässige Lösungen zur optischen bzw. akustischen Informationserfassung (Gesten, Sprache). Zu nennen sind hier auch leistungsfähige 3-D-Scanner.
- Objekte in Unternehmen (in der Produktion z. B. Werkstücke, Werkzeuge, Transporthilfsmittel sowie Fertigungseinrichtungen) verfügen über Transponder oder internetfähige Elemente. Sie sind dadurch in der Lage, sich zu identifizieren und bei Bedarf Informationen auszusenden (vgl. auch [24]).

- Assistenzsysteme werden die manuelle Datenerfassung sowie die Konfiguration von automatisierten Datenerfassungsprozessen schneller, komfortabler und vor allem sicherer machen. Erfasste Daten müssen stets aktuell, korrekt, vollständig und nachvollziehbar sein.

■ Informationsübermittlung

Als Stichworte sind hier flächendeckend kostengünstig verfügbare, sichere und stabile Datenetze, Industrie 4.0, schnelles Internet (gegebenfalls mit unterschiedlichen Performanceklassen) zu nennen. Der Ausbau der drahtlosen Übertragungsverfahren wird sowohl den Zugriff auf zentral (Cloud) als auch auf dezentral (Maschinen in Produktionswerken, Gebäudetechnik etc.) gehaltene Informationen selbstverständlich werden lassen. Damit stehen für die Durchführung von Fabrikplanungsaufgaben stets auch Informationen über die realen Umfeldbedingungen zur Verfügung (z. B. genaue Lage von Versorgungsleitungen, Ergebnisse aus Temperatur-/Feuchtigkeitsmessungen etc.). Speicher- bzw. Übertragungsmodalitäten für Daten lassen sich komfortabel und leicht verständlich von dem jeweils autorisierten Personenkreis programmieren.

■ Haltung und Bereitstellung von Daten und Anwendersoftware

Hier werden die cloudbasierte Datenhaltung und Softwareanwendungen weitere Verbreitung finden. Bei Anwendersoftware zeigt die Entwicklung vielfach in Richtung Software-as-a-Service (SaaS), insbesondere für Anwendungen, die stark dezentral genutzt werden und eher für Spezialanwendungen zum Einsatz kommen (z. B. Simulation aus der Cloud). In zunehmendem Umfang werden auch für professionelle Anwendungen aufgabenspezifische APPs (Applications, dt. Anwendungen) als Benutzungsschnittstelle (DIN EN ISO 9241-210 bzw. VDI/VDE 3850 Blatt 1) zur Verfügung gestellt werden. Cloud-basierte Anwendungen erlauben, dass rund um die Uhr und weltweit auf projekt- oder unternehmensbezogen einheitliche Anwendungen und Datenbestände zugegriffen werden kann, wie dies z. B. bei standortübergreifenden Projekten oder bei eng gekoppelten Produktionsnetzen unerlässlich ist (vgl. Megatrend „Globalisierung“). Die zunehmende Verbreitung von In-Memory-Datenbanken (z. B. HANA) lässt für die nächsten Jahre weitere Performancesteigerungen auch bei der Verarbeitung großer Datenvolumen erwarten.

■ Integration verschiedener Softwareanwendungen und Funktionsbereiche

Bezüglich der Integration verschiedener, fachlich verwandter Software-Anwendungen (CAx, PDM/PLM, ERP, MES, Architektur-/Gebäudedaten bezüglich Medienversorgung etc.) wurde in der Vergangenheit zwar mit der Spezifikation von genormten Austauschformaten schon einiges erreicht. Das angestrebte Plug-and-Play unterschiedlicher, fachlich verwandter Software-Anwendungen bzw. ein einfacher, eindeutiger Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Anwendungen ist auch bis heute nur bedingt möglich. Die Entwicklungen der nächsten Jahre werden daher (vgl. auch [24])

- die weitere Standardisierung von Datenaustauschformaten, soweit sinnvoll und machbar, fortsetzen,
- die Entstehung von Lösungen für durchgängige Datenbankmanagementsysteme (gegebenfalls auch mit einheitlichen Formaten für Engineering-Daten) voranbringen,
- unter den Aspekten „Datensicherheit“ und „Datenkonsistenz“ Standards für die Netzwerksicherheit sowie für Kopierschutz, zeitlich begrenzte Zertifikate, aktives Verfallsdatum, Authentifizierung, Verschlüsselung von Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten entstehen lassen.

■ Software-Werkzeuge für die Fabrikplanung

An Software-Werkzeugen mit Einsatzschwerpunkt „Fabrikplanung“ werden in den nächsten Jahren neue, leistungsfähigere Software-Lösungen für folgende Aufgabenstellungen verfügbar sein:

- Fabrik-DMU (Digital Mock-up) mit Zugriff für alle Beteiligten (standortübergreifende virtuelle Fabrik inklusive Logistik)
- individuell vernetzbare Planungsservices zur durchgängigen medienbruchfreien Nutzung
- Bereitstellung leistungsstarker Simulationen von Produktions- und Logistiksystemen sowie standortübergreifenden Produktionsnetzwerken (mit verschiedenen Parametern)
- schnelle und umfassende Machbarkeitsprüfung z. B. für Produktionsumstellungen
- Sicherheitschecks (Kollisionsprüfungen, Einhaltung Vorgaben bezüglich Temperatur, Gewicht, Feuchtigkeit)

■ Informationsausgabe (optisch/visuell, akustisch, elektrisch)

Als für die Fabrikplanung relevante Entwicklungen sind hier folgende Punkte zu nennen: Lösungen zur komfortablen, leicht verständlich darstellbaren, performanten 3-D-Visualisierung von Objekten

- Ausweitung des Angebots an Lösungen (Hardware/Software) zur interdisziplinären, kollaborativen Kommunikation und Interaktion, wie digitaler Planungstisch, Touchtables, Beamer, Multi-Display, Holografie
- Ausweitung des Angebots an Werkzeugen zur digitalen Kollaboration (z. B. Web-Konferenz-Tools)
- Entwicklung benutzerfreundlicher und kostengünstiger Cave¹³-Lösungen
- integrierte Ein-/Ausgabegeräte zur intuitiven Interaktion über Gesten und Sprache

■ Wissensdokumentation und -auswertung

Die systematische Dokumentation der verschiedenen Wissenskategorien in Unternehmen und bei Bedarf das spätere, schnelle Auffinden ist bis heute unzureichend gelöst. Wissen ist immer noch stark personengebunden dokumentiert. Gleiche Aufgabenstellungen werden in Unternehmen daher mehrfach bearbeitet und damit Fehler gegebenenfalls auch mehrfach gemacht. Dies gilt auch für die Fabrikplanung. Um dieses Defizit zu redu-

zieren, wird derzeit intensiv an IT-Lösungen gearbeitet zum

- automatischen Klassifizieren und Strukturieren erfasster Daten,
- zielgerichteten Auswerten großer Online-Datenmengen aus dem realen Betrieb (auch historische Daten),
- Bereitstellen und Nutzen von Erfahrungswissen aus Produktentwicklung, Fabrikbetrieb und Gebäudeplanung (wie Medienversorgung, Architektur) mithilfe von Social Media (Blogs, Wikis, Netzwerke etc.).

5.3 Produktion (Betrieb)

Voraussetzung für den IKT-gesteuerten Betrieb ist die Vision, dass alle Teilnehmer des Produktionssystems vollständig technisch und funktionell vernetzt sind. Das Autorenteam unterscheidet drei Ebenen der Vernetzung:

- 1 Konnektivität, das heißt Herstellung der informationstechnischen Verbindung zum Datenaustausch zwischen zwei oder mehr Komponenten einer Produktion
- 2 Serviceangebot, das heißt Bereitstellung, Abfrage und Nutzung von Funktionen der Komponenten
- 3 semantische Interoperabilität, das heißt Fähigkeiten und Daten, die die Komponenten liefern, sind für alle Teilnehmer des Produktionssystems einheitlich verständlich

Für alle drei Ebenen ist die Einhaltung von Standards wesentliche Voraussetzung für eine vorteilhafte Nutzung. Ein allgemeiner Mehrwert der Vernetzung in der Produktion wird für unterschiedliche Aspekte der Produktion erwartet:

- reduzierter Aufwand für Inbetriebnahme, z. B. können Komponenten unterschiedlicher Hersteller und Domänen im Ensemble ohne zusätzlichen Programmier- und Engineeringaufwand in einer Anlage installiert werden
- Das Zusammenwirken von Komponenten ermöglicht zusätzliche Funktionen für den Produktionsablauf, z. B. die übergreifende Steuerung von Produktionsanlagen und Gebäudetechnik zur Energieeinsparung.
- Zentrale Steuerung und Überwachung von Komponenten zum reibungsfreien und effizienten Betrieb, z. B. ein automatisierbares, zentrales Änderungsmanagement. Damit wird die Grundvoraus-

¹³ Cave Automatic Virtual Environment

setzung geschaffen, zukünftige komplexe Produktionssysteme zu entwickeln, zu betreiben und zu warten.

Während des Betriebs spielen im Hinblick auf die aktuelle und zukünftige Nutzung der IKT folgende Komponenten bzw. Ressourcen einer Fabrik die bestimmende Rolle, wenn die Produktionshalle als virtuelle Systemgrenze angenommen wird:

- Abläufe und Prozesssteuerung, z. B. durch Steuerungen oder überlagerte IT-Systeme (MES und Datenbanken)
- Netzwerk und Bussysteme zwischen technischen Systemen und der Ablaufsteuerung, intelligente Lenkung von Datenströmen
- mechatronische Systeme/Feldgeräte, Steuerungssysteme und Sensoren, die Daten über Prozesse und Anlagenzustände erfassen und Werkzeuge, um diese Daten auszuwerten
- Informationen zum Fertigungsprozess, z. B. Drehmoment, Schweißstrom
- Werkstücke und Informationen über ihren Zustand bzw. Bearbeitungsfortschritt, z. B. in Form von mobilen Datenträgern
- periphere Systeme, z. B. zur Gewährleistung der funktionalen Sicherheit (Safety), der Informations- und Datensicherheit (Security) und der Steuerung der Gebäudetechnik

Konkrete Ziele beim Betrieb aller dieser Komponenten sind bezogen auf die Verwendung und Vernetzung durch IKT:

- Effizienz: Geschwindigkeit und Zeit bezogen auf Innovationen, Durchlaufzeiten und Anlauf von Anlagen. Daraus folgen wettbewerbsfähige Herstellkosten mit Auswirkungen auf Investitionen in Anlagen und IKT, Wandlungsfähigkeit, Echtzeitfähigkeit, Netzwerkfähigkeit einschließlich Ressourceneffizienz mit Auswirkungen auf Materialeinsatz und Energieverbrauch
- Qualität: Vom Kunden geforderte Qualität und damit eine durchgängige 100%-Kontrolle, Dokumentation. Früherkennung von fehlerhaften Produkten bzw. Ausschuss. Beispiel: Optische 3-D-Messsysteme sind in der Qualitätssicherung bereits etabliert. Zukünftig könnten regelmäßige Soll-Ist-Vergleiche zwischen dreidimensional erfassten Produkten und Referenzgeometrien mit einer Mustererkennung kombiniert werden. Diese Muster ermöglichen den Rückschluss auf die Qualität

des Fertigungsprozesses. Beispielsweise könnte so die optische Beurteilung von Fräsbahnen einen Hinweis zum Austausch eines Fräasers liefern.

- Sicherheit: Mit der zunehmenden Detailtreue und Aktualität der Daten durch die Vernetzung der Komponenten wird eine rechtzeitige Fehlererkennung ebenso erleichtert wie die schnelle Reaktion im Fall des Auftretens.
- Gebrauchstauglichkeit (Usability) DIN EN ISO 9241-210: Benutzer (z.B. Mitarbeiter in der Produktion) sollten möglichst einfach und intuitiv Maschinen und Anlagenteile bedienen können. Dies kann nur durch eine hohe Usability der Benutzungsschnittstellen gewährleistet werden (vgl. VDI/VDE 3850 Blatt 1).

Auswirkungen auf MES

Die bisherigen proprietären MES-Systeme wandeln sich zu serviceorientierten Architekturen. Neue Anbieter produktionsnaher IT-Systeme am Markt entwickeln ihre Werkzeuge direkt nach dem Paradigma der Serviceorientierung. Dabei lassen sich grob die folgenden Architekturkomponenten unterscheiden:

- APPs: Beispiele für produktionsnahe APPs sind KPI-APPs zur Visualisierung von Kennzahlen wie Verfügbarkeit oder OEE oder Gantt-Chart-APP zur Visualisierung von Auftragsreihenfolgen als Ergebnis einer Fertigungsfeinplanung.
- MES-Services: Unter einem Service wird im Rahmen dieser Ausführungen eine Einheit mit einer konkreten Funktion und eindeutigen Ein- und Ausgangsparametern. Einzelne Funktionen können als Services bereitgestellt werden oder Services fassen mehrere Funktionen zusammen.
- Manufacturing-Service-Bus: Über diesen Bus kommunizieren die Services untereinander. Dieser Service-Bus ist eine der Kernkomponenten der zukünftigen serviceorientierten Architektur und dient als Integrationsebene, um das Zusammenspiel der Services zu realisieren. Auch in den heutigen MES-Systemen existieren diese Komponenten schon, allerdings zugeschnitten auf den jeweiligen Hersteller. Service-Busse, mit denen sich MES-Services unterschiedlicher Softwareanbieter ohne manuelle Programmieringriffe verbinden können, existieren heute noch nicht.
- Integrationsservices: Diese Services werden zwingend benötigt, um die Verbindung zwischen

MES-Service und den Maschinen, Anlagen und anderen Einrichtungen der Fabrik zu schaffen. Eine Kommunikation auf Basis eines industriellen Standards mit semantischem Mapping zur automatischen Anbindung von Maschinensteuerung an MES-Services ist ein Beispiel für einen solchen Integrationservice.

Ziel der Serviceorientierung muss es letztendlich sein, die soft- und hardwaretechnischen Services unterschiedlicher Anbieter kombinieren zu können, sodass Anwender zu einer echten „Best-of-breed“-Lösung kommen. Weitergehende Entwicklung ist, dass diese Funktionen aus der Cloud bezogen werden. Der grundsätzliche Ansatz von Cloud Computing liegt darin, dass Rechenleistung, IKT-Systeme und ihre Funktionalitäten nicht beim Anwender lokal installiert sind, sondern aus einem externen Rechenzentrum nach Bedarf bezogen werden. Der Anbieter der Cloud (Public oder Private Cloud) unterstützt dafür eine komplexe Cloud-Infrastruktur. Basierend auf dieser Infrastruktur bieten MES-Anbieter ihre Services an.

An der Schnittstelle zur Produktlebenszyklusphase „Instandhaltung“ (siehe Abschnitt 5.4) werden MES zukünftig auch Condition Monitoring und Verknüpfungen zu Instandhaltungsfunktionen übernehmen. Grundlage dafür sind u. a. Informationen über den Prozess, die von Feldgeräten (Sensoren und Aktoren) erfasst werden. Durch die zunehmende Verfügbarkeit von „intelligenten“ Feldgeräten vollzieht sich ein Trend zu immer umfassender instrumentierten Prozessen. Damit stehen zunächst mehr Daten zur Verfügung, was z. B. durch steigende Abstraten der Sensorsysteme noch verstärkt wird. Auf Basis der heute ohnehin vorhandenen Funktion der Maschinendatenerfassung ist davon auszugehen, dass MES-Systeme zukünftig zustandsüberwachende Funktionen, Diagnosefunktionen und entscheidungsunterstützende Funktionen anbieten, sodass Maschinenbediener die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen schnell und gezielt aufrechterhalten können.

Ein vernetztes Produktionssystem ist in der Perspektive mit den oben genannten Funktionen auch in der Lage, sich selbst zu steuern, autonom auf Anforderungen zu reagieren und Lieferketten selbst zu organisieren.

Die Integration von Feldgeräten in MES- und Automatisierungssysteme über Plug-and-Work ist eine weitere zukünftige MES-Funktion: Eine Selbstkonfiguration (Plug-and-Work) von Anlagen und Automaten verkürzt Inbetriebnahme- und Umbauphasen von Anlagen signifikant. Aufwendige manuelle Engineering-Schritte entfallen, z. B. ein Umschreiben von

Software. Intelligente Komponenten der Fabrik „kennen“ ihre Fähigkeiten und „wissen“, in welche Anlagen sie eingebaut werden können. Gegebenenfalls ändern sie Konfigurationseinstellungen selbstständig, um sich an die Fertigungsaufgabe und auch an die Anlage, in die sie eingebaut werden, anpassen zu können. Als Voraussetzungen für diese Adaptivität sind unter anderem zu nennen:

- Sicherheit (Security), z. B. in dem Sinne, dass keine unberechtigten Teilnehmer oder Geräte in die Produktionsanlage eingebaut werden. Das MES übernimmt außerdem die Funktion eines Portals, das vor Angriffen auf die IKT-Struktur des Produktionssystems schützt.
- standardisierte Kommunikation vom eingebetteten System bis ins MES
- Standardisierte Selbstbeschreibung der Fähigkeiten der Geräte: Dazu werden Eigenschaften und Fähigkeiten direkt auf den Geräten gespeichert.

Darüber hinaus ist der Ausbau folgender Funktionen zu erwarten:

- Verbindung der Planung im ERP-System mit der echtzeitnahen Planung im MES, mit der Möglichkeit für standortübergreifende Planung von Abläufen und der flexiblen Zuordnung von Produkten zu Standorten/Ressourcen (Multisite-Planung)
- Rückmeldung von Daten aus der Fertigung in die Produktentwicklung oder die Fabrikplanung

Die Vernetzung durch IKT-Werkzeuge in der Produktion erfordert ebenso neue technische Entwicklungen als auch ein grundlegendes Umdenken bereits während der Konzeption von solchen Systemen. Ausgehend von früheren Stand-alone-Systemen z. B. eines einzelnen Betriebsmittels, wird die durch IKT vernetzte Produktion zu einem Organismus mit einer erheblich zunehmenden Zahl von Wechselwirkungen. Die Entwickler sind daher aufgefordert, nicht nur für die Funktion ihrer Komponente zu sorgen, sondern auch die Gesamtheit aller möglichen, übergreifenden Funktionen im Auge zu behalten. Bei der heutigen Vorgehensweise wird der Entwickler damit organisatorisch überfordert. Die Forderung nach einer holistischen Vernetzung, wie sie hier vorgeschlagen wird, geht von Komponenten für die Produktion aus, die bereits alle denkbaren Funktionen der Vernetzung aufweisen. Eine Nachrüstung nicht vorgesehener Funktionen der Vernetzung auf einzelnen Kundenwunsch erscheint zu komplex und zu kostspielig. Der zukünftige IKT-Einsatz in der Produktion wird damit auch zu einer organisatorischen Herausforderung, die hauptsächlich durch die Einführung weitreichender

Standards gelöst werden kann. Zusätzlich sind Vernetzungskonzepte erforderlich, in denen jede Komponente keine möglichst abgegrenzte Einheit, sondern genau im Gegenteil als offenes Teilsystem begriffen wird. Prinzipiell könnte eine Cloud, in der sich die IKT von verschiedenen Produktionen in einer Art oberen, allgemeingültigen Sphäre über der physikalischen Produktion befindet, einen solchen Lösungsansatz darstellen. Technisch sind Clouds heute möglich und nehmen in der Verbreitung stark zu. In den Köpfen bedarf es jedoch noch eines Umdenkens, denn die Änderung eines funktionierenden Produktionssystems ist riskant.

5.4 Instandhaltung

Es gibt grundsätzlich drei Instandhaltungsstrategien, die durch IKT-Werkzeuge unterstützt werden:

- reaktive Instandhaltung (z.B. Instandsetzung nach Ausfall)
- präventive Instandhaltung (z.B. regelmäßiger Austausch von Einzelteilen)
- zustandsbasierte Instandhaltung (Überwachung des Maschinenzustands mit Sensoren)

Zu den Aufgaben der Instandhaltung (DIN EN 13306) und damit auch der IKT-Unterstützung gehören:

- Wartung
- Inspektion
- Instandsetzung
- Verbesserung

Die zustandsbasierte Instandhaltung wird zukünftig aufgrund der sensortechnischen Entwicklungen im Bereich „Condition Monitoring“ von Anlagen immer wichtiger, da hier die größten Einsparpotenziale bestehen. Ziel ist es dabei, den Abnutzungsvorrat von Einzelteilen möglichst weit auszuschöpfen, um diese dann kurz vor dem Ausfall oder einem deutlichen Performanceabfall auszutauschen. Die Maschinenüberwachung wird zunehmend über Remote-Systeme erfolgen, bei denen Instandhaltungsexperten sich an weltweit verteilten Orten befinden und Service-Personal über Kommunikationsmedien Handlungsanweisungen zur operativen Durchführung geben. Dabei werden Videoaufnahmen zunehmend durch AR-Verfahren mit digitalen Instandhaltungsdaten und Informationen überlagert (z. B. Demontageanweisungen oder vergangene Befundberichte). Die

Software von mechatronischen Systemen wird ebenfalls zunehmend über Remoteverbindungen aktualisiert bzw. neu programmiert, um die Effizienz von Maschinen zu verbessern. Geschäftsmodelle bestehen zunehmend aus Dienstleistungen, bei denen den Kunden nicht mehr die Produkte an sich, sondern bestimmte Leistungen verkauft werden. Die Hersteller sind dann für die Überwachung und Instandsetzung ihrer Produkte beim Kunden zuständig.

In das Instandhaltungsmanagement werden neben den Sensordaten immer mehr Produkt- und Ressourceninformationen einbezogen. Der Trend geht somit zu einer ganzheitlichen Betrachtungsweise der Einflussfaktoren von Instandhaltungsaufgaben. Dabei verschmelzen Business- und Engineering-Prozesse miteinander. Ein Beispiel für solch einen Ansatz ist Total Productive Maintenance (TPM), die als Ziele null Ausfälle, null Qualitätsverluste und null Unfälle verfolgt. Dieses Konzept wurde bislang zu einer lebensphasenübergreifenden Strategie erweitert. Das Instandhaltungsmanagement wird zukünftig im Rahmen eines ganzheitlichen Life Cycle Engineerings integriert sein.

Ein weiterer, zugegeben noch sehr ferner Zukunftstrend, sind selbstinstandhaltende Systeme, die neben Wartung und Inspektion zum Teil auch Instandsetzung betreiben können. Ziel ist es, Maschinenausfälle zu vermeiden und Stillstandzeiten zu minimieren. In diesem Zusammenhang kommen auch selbstheilende Materialien zum Einsatz. Im Zuge der Automatisierung werden Instandhaltungsfabriken entstehen, die ähnlich wie in der Neuproduktion deutliche Reduzierungen der Durchlaufzeiten erzielen werden.

Zu den IKT-Systemen, die das Instandhaltungsmanagement unterstützen, zählen:

- ERP-Systeme
- MES
- PDM-Systeme
- IPS¹⁴ oder CMMS¹⁵

Die ersten drei Systemkategorien sind Business-Anwendungen für das lebenszyklusübergreifende Daten- und Prozessmanagement (u. a. für Stücklistenprozesse, technische Dokumentation und Workflow-Automation). Sie besitzen häufig optionale MRO-Module. IPS und CMMS zielen darauf ab, ausschließlich den Instandhaltungsbereich abzude-

¹⁴ IPS: Instandhaltungs- und Planungssysteme

¹⁵ CMMS: Computerized Maintenance Management System

cken. Die zunehmende Life-Cycle-orientierte Denkweise spricht allerdings für die Entwicklung von ganzheitlichen PLM-Systemen. Diese könnten dann eine Life-Cycle-übergreifende Produktzustandsverfolgung ermöglichen, das heißt, Produktveränderungen durch Nutzungseinflüsse und Instandhaltungsmaßnahmen werden somit deutlich transparenter. In diesem Zusammenhang werden Produkte und Bauteile mit intelligenten Kommunikationsmedien ausgestattet, die ein PLM-System jederzeit mit den benötigten Informationen speisen können (z. B. Produktionsort und Zeit, aktueller Aufenthaltsort, Lieferzeit oder aktueller Abnutzungsvorrat). Die Informationen werden in Cloud-Services abgelegt und jederzeit standortübergreifend verfügbar sein.

Diese Vision wird allerdings aufgrund der bestehenden Geschäftsmodelle bis zum Jahr 2020 und darüber hinaus nicht realisiert werden. Bis dahin besteht die Problematik, dass Instandhalter von Produktherstellern oder Kunden häufig keinerlei Daten oder Informationen erhalten. Der Produktzustand ist zu Beginn des Instandhaltungsprozesses häufig nicht bekannt. Daher werden sich Verfahren zur Zustandsbefundung und digitalen Modellbildung stark weiterentwickeln. Insbesondere Modernisierungsprozesse durch konstruktive Optimierung (Reengineering) profitieren von 3-D-Scanning- und Geometriemodellierungsverfahren [25]. Aber auch die Inspektion wird durch die Verwendung von digitalen, dreidimensionalen Produktmodellen immer effektiver und effizienter. Optische 3-D-Mess- und Röntgenverfahren ermöglichen bereits heute eine hochgenaue Erfassung der Produktoberfläche sowie innerer Strukturen. Zukünftig könnten diese Verfahren über eine 3-D-Datenauswertung eine automatisierte Bauteilerkennung und Befundung von Einzelteilen ermöglichen. Stücklisten und Produktstrukturen könnten mit minimaler Demontage ermittelt werden [26]. Simulationen könnten das Bauteilverhalten unter Nutzungsbedingungen vorhersagen. Die Flächenrückführung der 3-D-Daten zu CAD-fähigen Datensätzen erfolgt vollautomatisch und Baugruppenmodelle werden anhand von Ersatzteilkatalogen selbstständig aufgebaut. AR-Systeme unterstützen Instandhaltungs-Workflows, indem Produktinformationen und Inspektionsdaten mit dem realen Produkt kombiniert werden. Diese Informationen werden aufgrund einer 3-D-Produktanalyse und Schnittstellen zu IKT-Systemen automatisch über intelligente Suchalgorithmen bereitgestellt.

Im Bereich der Instandhaltung von Elektronikkomponenten treffen die genannten Punkte in ähnlicher Weise zu. Während kurzlebige und kostengünstige

PCBs¹⁶ in der Regel komplett ausgetauscht werden, unterliegen langlebige und kostenintensive PCBs der Instandhaltung. In letzterem Fall sind technische Dokumentationen häufig nicht verfügbar, weil OEMs diese aus Vertraulichkeitsgründen nicht an den Instandhalter bzw. Produktnutzer weitergeben. Gerade Schaltpläne werden jedoch für die Funktionsanalyse und Reparatur benötigt. Zudem können häufig aufgrund von Obsoleszenz keine Ersatzteile mehr bezogen werden. Reverse-Engineering-Methoden entwickeln sich daher weiter, um Produktmodelle für die Nachfertigung zu generieren. 3-D-Scanning und Computertomografie liefern zusammen mit elektrischen Testverfahren in diesem Zusammenhang die notwendige Datengrundlage. Zukünftig werden intelligente 3-D-Bildanalyseverfahren eingesetzt, die es ermöglichen, die für die Schaltplanerstellung benötigten Struktur- und Verbindungsinformationen (z. B. Bauteilbezeichnungen, Leiterbahnverläufe, Pinpositionen) zu ermitteln und in einer Netzliste zusammenzufassen. Über die Schnittstelle zu ECAD¹⁷-Systemen könnten Schaltpläne für die Reparatur zukünftig selbstständig gezeichnet werden. Die Ergebnisse dienen dann als Grundlage für die elektrische Prüfung mit automatisierten Verfahren (z. B. Flying Probe Test). Aus den ermittelten Strukturinformationen können über existierende Software-Tools gleichfalls Layoutpläne für die Ersatzteilproduktion abgeleitet werden [27].

Instandhalter mit ihrem derzeitigen mobilen Geräten (Smartphone, Tablet-PC) werden zukünftig weitere unterstützende Geräte, z. B. Smart (Augmented Reality) Glass einsetzen [18; 28; 29].

Weitere Punkte mit starkem IKT-Bezug:

- Selbstüberwachung, -diagnose und Ersatzteilbestellung
- Alarmmeldungen und Instandhaltungsaufträge generiert aus Condition-Monitoring-Prozessen
- generative Fertigung von Ersatzteilen vor Ort
- Anlagenkonfiguration dokumentiert sich selbst bei Wartungseingriff
- M2M¹⁸: Kommunikation zwischen Anlagen über das Internet
- Remote-Zugriff auf Geräte

¹⁶ Printed Circuit Board

¹⁷ Electronic Computer Aided Design

¹⁸ Machine to Machine

- Multimedia-Anleitungen für Instandhaltungsaufgaben per Remote-Zugriff verfügbar
- Zustandsdaten elektronisch direkt am Produktionsmittel abgelegt und verfügbar
- eigenständige Sensorplatzierung und Datenlogging
- Auswertung auf Basis von Lernverfahren statt Modellen
- Kombination von Simulation und gemessenen Werten
- automatische Dokumentation und Überwachung durchgeführter Maßnahmen inklusive Ort
- Selbstauslösung von Wartungs- und Instandhaltungsaufträgen
- Personaleinsatzplanung der Instandhaltungsmitarbeiter
- selbstlernende Diagnosesysteme
- selbstheilende Maschinen

5.5 Aftersales-Service

Der zunehmende Einsatz von M2M-Systemen wird die derzeitigen Strukturen des Aftersales-Service ändern. Die heute noch üblichen Vor-Ort-Reparaturen lassen sich zukünftig, durch die während der Entwicklung berücksichtigte Internetfähigkeit der Produkte mit den benötigten integrierten Sicherheitsstrukturen, durch Remote-Zugriffe weitestgehend ablösen.

Mittels internetfähigen ITK-Werkzeugen wie der direkten Bildbetrachtung ist die Fehlersichtung und -erfassung und die Anweisung von geschultem Personal des Anlagenbetreibers durch Aufzeigen/Einblenden der defekten Komponenten in Schaltplänen, an der Maschine, mittels virtuellen Techniken usw. per Fernwartung möglich. Zur Reparatur benötigte Materialien werden direkt per IT-System bestellt. Die Diagnosesysteme lernen und reparieren einfachere Fehler eigenständig.

Der Aftersales-Service-Mitarbeiter muss – vergleicht man mit der derzeitigen Ausbildung – viel stärker IKT-zentriert arbeiten.

Im Zuge des derzeit diskutierten „Industrie 4.0“-Ansatzes werden selbstheilende Algorithmen auf Produkt- und auch auf Maschinenebene zum Einsatz kommen. Durch die Kommunikation der Produkte/

Maschinen untereinander können Abweichungen vom Sollzustand schnell eigenständig erkannt und ausgeglichen werden. Aufgrund der benötigten Echtzeitfähigkeit werden zukünftig intelligente, leistungsfähige, spezialisierte, kostengünstige Halbleiter und Rechensysteme entwickelt und implementiert sein. Dies wird insbesondere durch die Weiterentwicklung der Halbleiterstrukturierung unterstützt.

Bei spontan auftretenden Fehlern, z. B. Hardwarefehlern, wird der Mensch unterstützend eingreifen. Das Produkt bzw. die Maschine wird jedoch die Komplexität der Fehlerfindung reduzieren und aus den statistischen Schwarmdaten lernen.

Das Autorenteam geht davon aus, dass zukünftig (2020+) wiederkehrende produktspezifische Softwarealgorithmen in noch größerem Maße in Hardware (per Halbleiter) ausgelagert und redundant ausgeführt werden, um im Fehlerfall in Echtzeit weiterarbeiten zu können. Aus den statistischen Schwarmdaten der Komponenten und den aufgetretenen Fehlerbildern lernt das System. Die Algorithmen passen sich im Lebenszyklus des Produkts so an, dass die Sicherheit jederzeit gewährleistet ist. Trotzdem wird der Produkteigner aus juristischen Gründen nicht aus seiner Verantwortung im juristischen Sinne entlassen. Er muss das System überwachen und weiterhin für geeignete Managementstrukturen sorgen.

5.6 Produktablösung, Recycling und Refabrikation

Der in höheren Lebensstandards und Wirtschaftswachstum begründete starke Anstieg des weltweiten Ressourcenverbrauchs sowie daraus resultierend, das drastische Wachsen der Abfallberge haben insbesondere in den Industrieländern Initiativen ausgelöst, diese Entwicklung einzudämmen. So wurde z. B. Mitte der 1990er-Jahre in Deutschland das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz verabschiedet (vgl. Abschnitt 5.6). Die EU verankerte Richtlinien und Verordnungen in ihren Statuten, z. B. WEEE (Waste Electric and Electronic Equipment) oder REACH (Europäische Chemikalienverordnung). Der VDI-Richtlinienausschuss VDI 2343 erarbeitete ein Richtlinienwerk zum Recycling elektronischer Geräte [4].

Die Ingenieurinnen und Ingenieure sind in Zukunft noch stärker als heute gefordert

- die Vielfalt der verwendeten Werkstoffe sowie die Werkstoffmengen zu minimieren,
- die Produktstruktur (Baugruppenspezifikation) und Verbindungstechniken zwischen Bauteilen so

zu gestalten, dass während der Produktnutzung erforderliche Wartungs-, Reparatur-, Komponentenaustausch- sowie gegebenenfalls Umbaumaßnahmen effizient durchgeführt werden können,

■ Recyclingaspekte mit zu berücksichtigen.

Die Erfüllung dieser Anforderungen setzt die Verfügbarkeit einer Vielzahl von produktspezifischen Informationen bezüglich Produktstruktur, angewandten Produktionstechnologien (insbesondere Verbindungstechniken) und Qualitätsdaten voraus. Sie werden in den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus für Recherchen benötigt und sind über den gesamten Produktlebenslauf zu erfassen, aus Dokumentationsgründen oftmals entsprechend gesetzlich vorgegebener Bestimmungen einzelobjektspezifisch (z. B. in Produktakten Informationen über reparierte oder ausgetauschte Bauteile sowie Qualitätsdaten). Sowohl das Erfassen und Speichern der Daten sowie insbesondere ein späteres Abrufen und Aufbereiten für Recherchen muss quasi „an jedem Einsatzort eines Geräts bzw. einer Anlage“ aufwandsarm, schnell und sicher durchzuführen sein. Eine belegbasierte Dokumentation der geforderten Informationen erfüllt die bestehenden Anforderungen in der Regel ebenso wenig wie eine Speicherung der Daten auf einem lokalen, nicht vernetzten Datenträger. Die IKT-Entwicklungen der letzten Jahre sowie auch die schon absehbaren Entwicklungstrends in diesem Bereich tragen durchgängig zu einer einfacheren Erfüllung der Anforderungen aus dem Recycling bei. Die für die Produktentwicklung angebotene EDV-Werkzeuge (CAx-Werkzeuge, IT-Lösungen für physikalische Berechnungen und Analysen (Bauteilfestigkeit, Schwingungen, thermische Belastungen), Virtual Reality Tools und Augmented Reality Tools) enthalten bzw. generieren bereits eine Vielzahl der bei einem späteren Produktrecycling benötigten Informationen. Gegebenenfalls sind sie noch mit vergleichsweise geringem Aufwand zu ergänzen, um später den recyclingspezifischen Informationsbedarf komplett abzudecken. Darüber hinaus können die oben genannten EDV-Werkzeuge bereits in der Produktentwicklungsphase dazu herangezogen werden, die Machbarkeit der später für ein Produkt angedachten Umbau-, Umnutzungs- oder Demontagemassnahmen und -prozesse z. B. technisch und wirtschaftlich zu berechnen sowie mithilfe von Simulationsmodelle zu prüfen. Zur Erfüllung der Anforderung, die Werkstoffvielfalt in einem Produkt sowie das Gewicht von Bauteilen zu minimieren, trägt die kontinuierlich steigende Leistungsfähigkeit der erwähnten CAx-Werkzeuge hinsichtlich Funktionsumfang oder auch Rechengeschwindigkeit bei. Sie machen es der Produktentwicklung möglich, mit akzeptablem Aufwand

hinsichtlich Werkstoffeinsatz und Qualitätsanforderungen optimierte Produkte zu konzipieren.

Eine weitere Entwicklung aus dem IKT-Umfeld, die von ihrem Grundprinzip her dazu beitragen kann, Ressourcen zu sparen (geringer Werkstoffeinsatz) und Produkte recyclingfreundlicher zu gestalten (wenig unterschiedliche Werkstoffe, z. B. komplexes Produkt aus nur einem Werkstoff), stellen die generativen Fertigungsverfahren wie der 3-D-Druck dar, die bezüglich eines flächendeckenden industriellen Einsatzes jedoch derzeit noch „in den Kinderschuhen stecken“. 3-D-Druckverfahren erlauben die Herstellung von Teilen in hochkomplexen, einsatzoptimierten Formen, wie sie sich mit den heute üblichen Fertigungsverfahren nicht produzieren lassen. Das umfassende Ausschöpfen der technischen Möglichkeiten von generativen Fertigungsverfahren bei der Produktentwicklung erfordert von Ingenieuren ein ausgeprägtes Umdenken hinsichtlich der Gestaltung von Bauteilen und dem Aufbau von Produkten.

Die Ergänzung oder Detaillierung des recyclingrelevanten Datenprofils aus der Produktentwicklung in den nachfolgenden Produktlebensphasen schafft die Voraussetzungen, dass bis zum Ende der geplanten Lebensdauer eines Produkts alle für ein hochwertiges Produktrecycling notwendigen Informationen schnell, einfach und sicher zur Verfügung stehen. Die nach der Produktentwicklung zu erhebenden Daten erstrecken sich im Produktionsprozess, z. B. auf die Chargen- bzw. Bauteilnummern der verarbeiteten Rohmaterialien und Komponenten, Istprozessinformationen (Fertigungsprozessdaten, Qualitätsdaten, Materialanalysen) sowie auf Logistikdaten. Aus dem Aftersales-Service sind u. a. Informationen über technische Störungen/Ausfälle von Anlagen, Aggregaten und Bauteilen sowie durchgeführte Reparaturen und ausgetauschte Komponenten recyclingrelevant. Durch eine Online-Anbindung der Fertigungs- und Mess- sowie der Logistikeinrichtungen an die betrieblichen EDV-Systeme (ERP, MES, PDM) lassen sich erfasste Daten zeitnah und automatisch für eine spätere Weiterverwendung speichern.

Werden die gewonnenen Daten in strukturierten, standardisierten Datenformaten in zentralen Speichermedien mit dezentralen Zugriffsmöglichkeiten (z. B. Cloud) oder – sobald das zu beschreibende Objekt physisch existent ist – auch in elektronisch lesbaren Datenträgern direkt am Produkt gespeichert (z. B. Transponder), lassen sie sich für die unterschiedlichsten Zwecke (z. B. ein ökologisch und ökonomisch hochwertiges Recycling) wie gefordert, aufwandsarm, schnell und sicher bereitstellen. Soweit sinnvoll, können Produkte und Bauteile auch direkt miteinander kommunizieren.

Da die technische Leistungsfähigkeit sowohl von Cloud- als auch von Transponder- und „Industrie 4.0“-Lösungen außerordentlich schnell steigt, während die Kosten hierfür gleichzeitig sinken, wird es für die Ingenieurinnen und Ingenieure in Zukunft wichtiger

denn je sein, sich in allen Produktlebensphasen über die gesetzlichen Vorgaben hinaus mit der Erfassung, Dokumentation, Bereitstellung und Nutzung recyclingbezogener Informationen auseinanderzusetzen.

6 Zehn IKT-induzierte Auswirkungen auf die Ingenieurarbeit

Angepasste Qualifikation

Mit Blick auf die steigende Durchdringung des Engineerings mit Informationstechnologien in den Produkten sowie Engineering-Werkzeugen sind neue Rollenprofile [30] und damit auch Ausbildungsinhalte und Weiterqualifizierungsmaßnahmen vorzusehen. Die klassische Mechanikentwicklung ist weniger dominierend als zuvor, dafür gewinnen z. B. Systemarchitekten mit mechatronischen und informationstechnischen Kenntnissen an Bedeutung. Dennoch sind klassische Jobprofile nicht obsolet.

Die Vermittlung von Werkzeugen der virtuellen Produktentwicklung wird wichtiger für Anwender, Beratungshäuser und Systemvendoren. So ist beispielsweise die Gründung neuer Qualifizierungsmaßnahmen wie dem „PLM Professional“ von großer Bedeutung.

Zehn Auswirkungen

- interdisziplinäre Zusammenarbeit und Technologietransfer [31]
- neue Entwicklungsmethoden (Herangehensweise: Kollaboration zwischen Entwicklung und Produktion; Blick auf Lebenszyklus)
- lebenslanges Lernen, ständiger Wissenserwerb, kontinuierliche Fortbildung; permanenter Austausch (Durchlässigkeit zwischen Hochschule – Industrie), Webinare
- integrierte Produkt-Service-Systeme, integrierte Logistiksystem- und Instandhaltungsservices
- Internationalität (Wettbewerbskenntnisse; andere Länder aus Wissenssicht und Marktsicht/Wettbewerbsicht/Kulturen)
- Kundennutzenorientierung und Gebrauchstauglichkeit (einfache Bedienung, Gerontologie, Ressourcenschonung, funktional, Umgebungsbedingungen, Ersatzteilbestellung automatisiert)
- Wissen proaktiv zur Verfügung stellen (richtige Informationen, Semantik, ohne großen Aufwand, Schnittstellen)
- neue Möglichkeiten, um Arbeitsergebnisse virtuell zu überprüfen (virtuelle Produktion, Entwicklung, Modelle, Simulation, realitätsnahe Umgebung)
- hochgradig kreativ, weil Fleißarbeiten/Routine-tätigkeiten automatisiert werden
- Flexibilität des Arbeitsorts (Home Office, keine Festlegung auf Arbeitsplatz und Arbeitszeit)

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend von sich konkret abzeichnenden Megatrends beschreibt das Autorenteam dieser Publikation, welchen Einfluss IKT-Technologien auf die zukünftige Arbeit von Ingenieurinnen und Ingenieuren haben. Die IKT-Industrie entwickelt mit hoher Geschwindigkeit neue Technologien als Basistechnologien, die Ingenieure mehr oder weniger als gegeben annehmen. In der täglichen Arbeit nutzen dann Ingenieure IKT-Werkzeuge in den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus oder entwickeln direkt IKT-Komponenten, die direkt in das Endprodukt einfließen, z.B. als Embedded Systeme.

Aufgrund der guten Ausbildung in Deutschland haben Ingenieure das erforderliche Grundverständnis für die Funktionen des Produkts sowie von den Abläufen seiner Herstellung, für mögliche Serviceleistungen und ressourcenschonende Weiterverwendung. IKT-basierte Werkzeuge werden zukünftig für die Arbeit von Ingenieuren immer wichtiger. Für Ingeni-

eure bedeutet dies, dass sie ebenfalls ein Grundverständnis für Methoden und Möglichkeiten der Informatik entwickeln werden. Ingenieure und Informatiker werden zukünftig in allen Phasen des Produktlebenszyklus, z. B. für die Produkte der Zukunft und für deren Produktion, gemeinsam Werkzeuge entwickeln. Wenn ingenieurspezifisches Wissen und das Know-how der Informatik über Softwarearchitektur, Softwareentwicklung und Tests über Algorithmen und Datenstrukturen zusammenkommen, können daraus wettbewerbsfähige Produkte für die Märkte von morgen entstehen, die die aus den Megatrends resultierenden Aufgaben bewältigen. Es liegt wiederum an Ingenieuren, die Ergebnisse von IKT-Werkzeugen aufgrund ihres Know-hows abzuschätzen, um zu beurteilen, ob die vom Computer ermittelten Lösungen korrekt sind. Interdisziplinarität der Ingenieurwissenschaften und der Informatik ist darum eines der herausragenden Merkmale für die Ingenieurarbeit der Zukunft.

8 Anhang

An der Erstellung dieses Texts haben mitgearbeitet:

- Dr. rer. nat. Heinz Bedenbender (VDI e.V., Düsseldorf)
- Dr.-Ing. Susanne Brüggemann (Viessmann Elektronik GmbH, Allendorf)
- Dipl.-Ing. Hendrik Grosser (Fraunhofer IPK, Berlin)
- Dipl.-Ing. Peter Lehmacher (InfraServ Knapsack GmbH & Co. Knapsack KG, Hürth)
- Prof. Dr.-Ing. Gerrit Meixner (Hochschule Heilbronn, Heilbronn)
- Dr.-Ing. Patrick Müller (CONTACT Software GmbH, Bremen)
- Dr.-Ing. Jan Stallkamp (Fraunhofer-IPA; Projektgruppe PAMB, Mannheim)
- Dr.-Ing. Olaf Sauer (Fraunhofer IOSB, Karlsruhe)
- Prof. Dr. rer. nat. Hartwig Steusloff (Fraunhofer IOSB, Karlsruhe)
- Dipl.-Ing. Martin Roßmann (Viessmann Elektronik GmbH, Allendorf)
- Dipl.-Ing. Ute Mussbach-Winter (Stuttgart)
- Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel (Universität Kassel, Kassel)
- Dipl.-Wirtsch.-Ing. Thomas Wochinger (Fraunhofer IPA, Stuttgart)

Schrifttum

Gesetze und Verordnungen

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl I, 2012, Nr. 10, S. 212–264)

Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE) (ABl EU, 2012, Nr. L 197, S. 38–71)

Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission (ABl EU, 2007, Nr. L 136, S. 3–280)

Technische Regeln

DIN 31051:2012-09 Grundlagen der Instandhaltung. Berlin: Beuth Verlag

DIN EN ISO 9241-210:2011-01 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion; Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 13306: 2010-12 Instandhaltung; Begriffe der Instandhaltung. Berlin: Beuth Verlag

ISO/IEC 19770-2:2009-11 Information technology; Software asset tag. Genf: ISO

ISO/IEC/IEEE 16326:2009-12 Systems and software engineering; Lifecycle processes; Project management. Genf: ISO

VDI/VDE 3850 Blatt 1:2014-04 Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen; Konzepte, Prinzipien und grundsätzliche Empfehlungen. Berlin: Beuth Verlag

VDI 4499 Blatt 1:2008-02 Digitale Fabrik; Grundlagen. Berlin: Beuth Verlag

VDI 4499 Blatt 2: 2011-05 Digitale Fabrik; Digitaler Fabrikbetrieb. Berlin: Beuth Verlag,

VDI 5600 Blatt 1:2007-12 Fertigungsmanagementsysteme. Berlin: Beuth Verlag,

VDI 5600 Blatt 2:2013-03 Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES); Wirtschaftlichkeit. Berlin: Beuth Verlag

VDI 5600 Blatt 3:2013-07 Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES); Logische Schnittstellen zur Maschinen- und Anlagensteuerung. Berlin: Beuth Verlag

VDI 5600 Blatt 4:2012-10 Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES); Unterstützung von Produktionssystemen durch MES. Berlin: Beuth Verlag

VDI 5600 Blatt 5:2014-01 Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems; MES); Neue Optimierungsansätze mit MES. Berlin: Beuth Verlag

Literatur

- [1] VDMA, Trendstudie: IT und Automation in den Produkten des Maschinenbaus bis 2015, 2012
- [2] P. Müller; F. Pasch; R. Drewinski; H. Haygazun: Studie: Kollaborative Produktentwicklung und digitale Werkzeuge: Defizite heute – Potenziale morgen, Berlin: Fraunhofer IPK, 2013
- [3] E. Abele; G. Reinhart: Zukunft der Produktion, München: Hanser-Verlag, 2011
- [4] J. Crone; B. Rosemann; M. Mörtl: „Recyclinggerechtes Konstruieren. In: R. Steinhilper; F. Rieg (Ed.): Handbuch Konstruktion“, in Handbuch Konstruktion, München: Carl Hanser, 2012, pp. 487–509.
- [5] T. Bauernhansl: „Cradle to Cradle und was das IPA daraus macht; Interaktiv,“ Das Kundenmagazin des Fraunhofer IPA, 2 2012, pp. 42–45.
- [6] VDMA: Maschinenbau in Zahl und Bild, 04 07 2014. (Online). Available: <http://www.vdma.org/article/-/articleview/732612>. [Zugriff am 17 07 2014].
- [7] BMWi: Flächendeckendes Breitband – die zentrale Infrastruktur für Intelligente Netze. Dokumentation der Ergebnisse der AG2 Unterarbeitsgruppe Breitband zum Nationalen IT Gipfel am 13.11.2012, Essen, 2012.
- [8] R. Stark; F.-L. Krause; C. Kind; U. Rothenburg; P. Müller; H. Hayka; H. Stöckert: Competition in Engineering Design – the Role of Virtual Product Creation. In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 3 2010, pp. 175–184.
- [9] R. Stark; H. Hayka; J. Israel; M. Kim; P. Müller; U. Völlinger: Virtuelle Produktentstehung in der Automobilindustrie. In: Informatik Spektrum, 1 2011.

- [10] *M. Eigner; R. Stelzer*: Product Lifecycle Management, Berlin: Springer Verlag, 2009.
- [11] *M. Grieves*: Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking, McGraw-Hill Professional, 2005.
- [12] *J. Stark*: „Product Lifecycle Management,“ in 21st century paradigm for product realisation, London: Springer-Verlag, 2006.
- [13] National Aeronautics and Space Administration, NASASystems Engineering Handbook, Washington, D.C. 20546: NASA Headquarters, 2007.
- [14] *R. Anderl; M. Eigner; U. Sendler; R. Stark*: Interdisziplinäre Produktentstehung (acatech DISKUSSION April 2012), Heidelberg: Springer Vieweg Verlag, 2012.
- [15] „mecPro2,“ (Online). Available: www.mecpro2.de. (Zugriff am 18 07 2014).
- [16] *T. Weikins*: Systems Engineering with SysML/UML – Modeling, Analysis, Design, Mogan Kaufmann OMG Press, 2007.
- [17] *M. Eigner*: Modellbasierte Virtuelle Produktentwicklung auf einer Plattform für System Lifecycle Management. In: Industrie 4.0, Springer, 2013.
- [18] *G. Meixner*: Modellbasierte Entwicklung von Benutzungsschnittstellen. In: Informatik-Spektrum, Band 34 2011, pp. 400–404.
- [19] *H. Hußmann; G. Meixner; Z. D.*: Model-Driven Development of Advanced User Interfaces. In: Studies in Computational Intelligence, Vol. 340 2011.
- [20] *P. Müller*: „Integrated Engineering of Products and Services, Layer-based Development Methodology for Product-Service Systems (in print). Dr. Doctoral Thesis,“ Laser-based Development Methodology for Product-Service Systems, 2013.
- [21] *P. Müller*: „Configuration management – a core competence for successful through-life systems engineering and engineering services (in print),“ TESconf 2013. Cranfield, UK, 2013.
- [22] *R. Stark; J. Kreis; P. Müller; M. Muschiol*: „PLM im Kontext des Dampfturbinen-Service,“ ZWF, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2011.
- [23] *E. Uhlmann; M. Röhner; J. Behrendt; B. Van Duikern*: Markt- und Trendstudie 2011 – Maintenance, Repair and Overhaul, Berlin: Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, 2011.
- [24] *U. Bracht; D. Geckler; S. Wenzel*: Digitale Fabrik – Methoden und Praxisbeispiele, Berlin: Springer Verlag, 2011.
- [25] *R. Stark; H. Grosser; P. Müller*: Product analysis automation for digital MRO based on intelligent 3D data acquisition. In: CIRP Annals – Manufacturing Technology, Volume 62, Issue 1, ISSN 0007-850., pp. 123–126, 2013.
- [26] *H. Grosser; P. Müller; R. Stark*: „Integrated Solutions for 3D Scanning and Generation of Digital Product Models in MRO Processes,“ Proceedings of the 1st International Conference on Through-life Engineering Services (TESConf) - Enduring and Cost Effective Engineering Support Solutions, 2012.
- [27] *H. Grosser; B. Beckmann-Dobrev; F. Politz; R. Stark*: „Computer Vision Analysis of 3D scanned Circuit Boards for functional Testing and Redesign,“ Computer Vision Analysis of 3D scan Proceedings of the 2nd International Conference on Through-life Engineering Services (TESConf), 2013.
- [28] *D. Gorecky; R. Campos Garcia; G. Meixner*: „Seamless Augmented Reality Support on the Shopfloor based on Caper-Physical Systems,“ Proc. of the 2nd International Workshop on Mobile Augmented Reality, 2012.
- [29] *G. Meixner*: Mobile Interaktionstechniken in der Fabrik der Zukunft. In: atp – Automatisierungstechnische Praxis, S. 48–54, 12/2011.
- [30] *K. Lindow; P. Müller; R. Stark*: „New Job Roles in Global Engineering – From Education to Industrial Deployment,“ Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED11), 2011.
- [31] „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0,“ 2013. (Online). http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf. (Zugriff am 18 07 2014).

Der VDI

Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Ingenieure brauchen eine starke Vereinigung, die sie bei ihrer Arbeit unterstützt, fördert und vertritt. Diese Aufgabe übernimmt der VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. Seit über 150 Jahren steht er Ingenieurinnen und Ingenieuren zuverlässig zur Seite. Mehr als 12.000 ehrenamtliche Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Das überzeugt: Mit rund 154.000 Mitgliedern ist der VDI die größte Ingenieurvereinigung Deutschlands.

Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI-Gesellschaft Produkt und Prozessgestaltung
Fachbereich Informationstechnik
Dr. Heinz Bedenbender
Tel. +49 211 6214-485
bedenbender@vdi.de
www.vdi.de