
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung – Herausforderungen für die Produktion mit Zukunft	1
	<i>Michael Schenk, Marco Schumann</i>	
1.1	Demografischer Wandel	2
1.2	Ressourceneffizienz	17
1.3	Digital Engineering and Operation – Neue Methoden des Digital Engineering and Operation	27
1.3.1	Einführung	27
1.3.2	Motivation	28
1.3.3	Einordnung in den Stand der Technik	31
1.3.4	Herausforderungen	32
1.3.4.1	Trends in der Produktentwicklung und Prozessplanung	34
1.3.4.2	Was ist neu an diesem Ansatz?	38
1.3.4.3	Projektbeispiele	39
1.4	Betrachtungsrahmen	41
1.5	Literatur	41
2	Arbeitssysteme der Zukunft	49
	<i>Norbert Elkmann, Dirk Berndt, Stefan Leye, Klaus Richter, Rüdiger Mecke</i>	
2.1	Anforderungen an die Arbeitsplätze der Zukunft	49
2.2	Mensch-Roboter-Arbeitsplatz	52
2.2.1	Technologien und technische Voraussetzungen	52
2.2.2	Multisensorsystem zur optischen Arbeitsraumüberwachung	53
2.2.2.1	Stand der Technik	53
2.2.2.2	Motivation	54
2.2.2.3	Technologiebeschreibung	55
2.2.2.4	Anwendung und Einsatz	58
2.2.2.5	Modelle, Werkzeuge und Methoden	58
2.2.3	Taktile Sensorik zur Kollisionserkennung (sichere MRI)	58
2.2.3.1	Stand der Technik	58

2.2.3.2	Motivation	59
2.2.3.3	Technologiebeschreibung	59
2.2.3.4	Anwendung und Einsatz	60
2.2.3.5	Modelle, Werkzeuge und Methoden	61
2.2.4	Navigationen für mobile Assistenzroboter	61
2.2.4.1	Stand der Technik	62
2.2.4.2	Motivation	62
2.2.4.3	Technologiebeschreibung	62
2.2.4.4	Anwendung und Einsatz	68
2.2.4.5	Modelle, Werkzeuge und Methoden	69
2.2.5	Intuitive Interaktionswerkzeuge	69
2.2.5.1	Stand der Technik	69
2.2.5.2	Motivation	70
2.2.5.3	Technologiebeschreibung	71
2.2.5.4	Anwendung und Einsatz	71
2.2.5.5	Modelle, Werkzeuge und Methoden	74
2.2.6	Intelligente Produktion mit flexiblen Roboterwerkzeugen	74
2.2.6.1	Stand der Technik	75
2.2.6.2	Motivation	75
2.2.6.3	Technologiebeschreibung	76
2.2.6.4	Anwendung und Einsatz	78
2.2.6.5	Modelle, Werkzeuge und Methoden	78
2.2.7	Hochflexible Produktionsverfahren mit Industrierobotern	79
2.2.7.1	Stand der Technik	79
2.2.7.2	Motivation	80
2.2.7.3	Technologiebeschreibung	80
2.2.7.4	Anwendung und Einsatz	82
2.2.7.5	Modelle, Werkzeuge und Methoden	83
2.2.8	Zwischenfazit: Herausforderungen	83
2.3	Montage-Arbeitsplatz – Visuelle Assistenz und optische Prüfung	84
2.3.1	Neue Technologien für Montageassistenz und Montageprüfung	84
2.3.2	Visuelle Assistenz – Unterstützung für komplexe manuelle Montageaufgaben	85
2.3.2.1	Technologie für Montageassistenz	85
2.3.2.2	Technologischer Vorteil der visuellen Assistenz gegenüber alternativen Technologien	88
2.3.2.3	Anwendungsbeispiel: Moderne Buchbinderei – Visuelles Assistenzsystem für Montage von Spannmitteln	90
2.3.3	Modellbasierte optische Montageprüfung	96
2.3.3.1	Technologie einer modellbasierten optischen Montageprüfung	96

2.3.3.2	Anwendungsbeispiel: Modellbasierte optische Montageprüfung von Spannmitteln	100
2.3.4	Zusammenfassung verwendeter Modelle, Methoden und Werkzeuge	106
2.3.4.1	Digitale Modelle	106
2.3.4.2	Methoden und Werkzeuge	107
2.4	Bedien-Arbeitsplatz	108
2.4.1	Anforderungen	108
2.4.2	Technologische/Technische Voraussetzungen	108
2.4.3	Realisierungsbeispiele	110
2.4.3.1	Bedienung von Werkzeugmaschinen	110
2.4.3.2	Instandhaltung eines Hochspannungsleistungsschalters	113
2.5	Kommissionier-Arbeitsplatz	119
2.5.1	Definition und wirtschaftliche Bedeutung	119
2.5.2	Der intelligente Kommissionier-Arbeitsplatz	122
2.5.3	Informationstechnische Assistenz	122
2.5.3.1	Handlungsanweisung	123
2.5.3.2	Kontrolle	124
2.5.4	Körperliche Assistenz	125
2.5.5	Kognitive Assistenz	126
2.5.5.1	Situationsanalyse	127
2.5.5.2	3D-Szenenmodellierung	129
2.5.6	Ausblick	130
2.6	Arbeitsplatz zur medizinischen Behandlung	130
2.6.1	Herausforderungen bei minimal-invasiven Therapieverfahren	130
2.6.2	Planungs- und Testumgebung für minimal-invasive Operationsverfahren	134
2.6.2.1	Motivation	134
2.6.2.2	Generierung patienten-individueller Modelle	136
2.6.2.3	Simulation von dynamischen Eigenschaften	139
2.6.2.4	Möglichkeiten der interaktiven Operationsplanung	142
2.6.3	Zusammenfassung und Ausblick	146
2.7	Literatur	147
3	Produktionssysteme	151
	<i>Dirk Berndt, Matthias Gohla, Holger Seidel, Udo Seiffert</i>	
3.1	Optische Technologien für die Mess- und Prüftechnik – Qualitätskontrolle – Inlinefähiges Messen und Prüfen	151
3.1.1	Allgemeine Rahmenbedingungen und Herausforderungen	151
3.1.2	Neue Technologien für Inlinefähiges Messen und Prüfen	152
3.1.2.1	Ausgangssituation	152
3.1.2.2	Modellbasierte Technologiebausteine	153

3.1.3	Realisierungsbeispiel: Geometrische Qualitätsprüfung von Aluminiumrädern	157
3.1.3.1	Ausgangssituation	157
3.1.3.2	Motivation	158
3.1.3.3	Neue Herausforderungen	158
3.1.3.4	Ziel	159
3.1.3.5	Beschreibung der Lösung	159
3.1.3.6	Realisierung des Messsystems	163
3.1.3.7	Erfahrungen aus dem praktischen Einsatz	169
3.1.4	Zusammenfassung und Ausblick	170
3.2	Effiziente Energiewandlung und -verteilung	172
3.2.1	Grundlagen zum Energieeinsatz in Produktionsprozessen	172
3.2.2	Energiewandlungsprozesse	175
3.2.2.1	Übersicht über regenerative Energieformen	175
3.2.2.2	Nutzung regenerativer Energieträger in Produktionsprozessen	179
3.2.2.3	Kraft-Wärme-Kopplung mit regenerativer Energie	180
3.2.2.4	Digitale Methoden und Werkzeuge im Anlagenlebenszyklus	184
3.2.2.5	Realisierungsbeispiel: Wärme und Strom aus regenerativen Quellen für die Holzindustrie	190
3.2.2.6	Realisierungsbeispiel: Wirbelschicht-Kompaktfeuerungs- anlage zur Nutzung unterschiedlicher Brennstoffe	193
3.2.3	Geschlossene Energiekreisläufe	197
3.2.3.1	Abwärmenutzung	198
3.2.3.2	Reststoffnutzung	198
3.2.3.3	Realisierungsbeispiel: Nutzung gasförmiger Reststoffe zur Prozesswärmeerzeugung	200
3.2.3.4	Realisierungsbeispiel: Nutzung pulverförmiger Reststoffe zur Prozesswärmeerzeugung	201
3.2.4	Effiziente Energieverteilung	202
3.2.4.1	Wärmeverteilungsnetze	202
3.2.4.2	Elektrische Netze und Speicher	204
3.3	Energieeffiziente Produktion	207
3.3.1	Herausforderungen der Energieeffizienten Produktion	207
3.3.1.1	Energiemanagement	208
3.3.1.2	Realisierungsbeispiel: Energieeffizienzsteigerung in russischen Unternehmen	210
3.3.2	Ansätze des Digital Engineering and Operation zur Steigerung der Energieeffizienz produzierender Unternehmen	212
3.3.2.1	Indirektes Messen	212
3.3.2.2	Cross Energy	216

3.3.2.3	Energieoptimierte Produktionsplanung	220
3.4	Smart Farming-Systeme	224
3.4.1	Smart Farming	224
3.4.1.1	Der industriell geführte Anbau agronomisch relevanter Kulturpflanzen – Charakteristik und Herausforderungen	224
3.4.1.2	Sensorik	226
3.4.1.3	Datenverarbeitung	227
3.4.1.4	Visualisierung/Aktorik	230
3.4.1.5	Nutzen des Smart Farming	231
3.4.2	Entwicklung, Aufbau, Anlauf und Betrieb von Smart Farming- Systemen	232
3.4.2.1	Phase „Entwicklung“ – Werkzeuge und Methoden zur Modellgenerierung in Smart Farming-Systemen . . .	232
3.4.2.2	Phase „Aufbau“ – Methoden und Werkzeuge zur Verwendung digitaler Modelle in Smart Farming- Systemen	234
3.4.2.3	Phase „Anlauf“ – systematische Erhebung von Referenzdaten in Smart Farming-Systemen	236
3.4.2.4	Phase „Betrieb“ – die Arbeitsphase von Smart Farming- Systemen	238
3.4.3	Zusammenfassung und Ausblick	238
3.5	Literatur	240
4	Logistiksysteme	245
	<i>Klaus Richter, Olaf Poenicke, Martin Kirch, Mykhaylo Nykolaychuk</i>	
4.1	Einleitung	245
4.2	Der Intelligente Logistikraum	247
4.3	AutoID-Einsatz in Logistik- und Produktionssystemen	251
4.3.1	Funkbasierte Systeme	252
4.3.1.1	Funktionsprinzip von RFID-Systemen mit passiven Transpondern	253
4.3.1.2	Möglichkeiten der Störungsminimierung bzw. -beseitigung im UHF-Bereich	256
4.3.1.3	Leseprinzipien von UHF-Transpondern	257
4.3.1.4	Methode der Modenverwirbelungskammer MVK	257
4.3.1.5	Anwendungsfelder des Prinzips der MVK	259
4.3.1.6	Mobile Lösungen für die Einzelleseung passiver RFID-Transponder	261
4.3.2	Bildbasierte Systeme	263
4.4	Einsatz von Ortungstechnologien in Logistik- und Produktionssystemen .	263
4.4.1	Funkbasierte Systeme	265
4.4.2	Bildbasierte Systeme	267

4.5	Einsatz der Zustandsüberwachung in Logistik- und Produktionssystemen	270
4.5.1	Optische Verfahren der Zustandsüberwachung mittels Tiefenbildsensorik	271
4.5.2	Intelligente Ladungsträger	273
4.6	Funktionen des Digital Engineering and Operation – Datenanalyse und -auswertung	273
4.7	Funktionen des Digital Engineering and Operation – Planung der Sensorverteilung	275
4.7.1	Planung der Sensorverteilung für digitale Kamerasysteme	277
4.7.2	Anwendungsbeispiel – Sensorplanung und virtuelle Inbetriebnahme in der Praxis	278
4.8	Fazit – Herausforderungen für die Intelligenzen Standardisierten Logistikräume	280
4.9	Literatur	281
5	Digital Engineering and Operation	283
	<i>Ulrich Schmucker, Tina Haase, Marco Schumann</i>	
5.1	Produktentwicklung – Beispiele des Virtual Engineering am Fraunhofer IFF	283
5.1.1	Möglichkeiten und Grenzen heutiger Produktentwicklungssysteme	283
5.1.2	Anforderungen an ein System zur durchgehenden Produkt- entwicklung in der Mechatronik	288
5.1.3	VEMOS – ein System zum durchgängigen modellbasierten Entwurf mechatronischer Systeme	290
5.1.4	Automatische Generierung von Mehrkörpersystem-Modellen aus CAD-Daten	294
5.1.4.1	Ausgangssituation	294
5.1.4.2	Vorgehensweise	295
5.1.4.3	Ablauf der Modellgenerierung	296
5.1.4.4	Ergebnis	298
5.1.5	Automatisierte Erstellung domänenübergreifender Modelle und echtzeitfähige Kopplung von Simulation, Visualisierung und realen Steuerungen	298
5.1.5.1	Ausgangssituation	298
5.1.5.2	Aufwandsreduktion durch automatisierte Modell- erstellung	299
5.1.5.3	Erstellung des mechanischen Mehrkörpersystem- Modells	300
5.1.5.4	Erstellung elektrischer und fluidischer Modelle	300
5.1.5.5	Integration der funktionalen Modelle in die VR-Umgebung	302
5.1.5.6	Kopplung zur VR-Visualisierung	304

5.1.6	VINCENT – Ein Werkzeug zur virtuellen Entwicklung von Steuerungsprogrammen für Sondermaschinen	305
5.1.6.1	Problemstellung	305
5.1.6.2	VINCENT-Workcell	306
5.1.6.3	VINCENT-Workpiece	308
5.1.6.4	Zusammenfassung	311
5.1.7	VITES – SPS-Programmierung durch virtuelles Teachen	311
5.1.7.1	Problemstellung	311
5.1.7.2	VITES – Virtuelles Teachen von Steuerungen	312
5.1.7.3	Zusammenfassung	315
5.1.8	Viro-Con – Ein virtueller Konfigurator für modulare Robotersysteme	316
5.1.8.1	Einleitung	316
5.1.8.2	Problemstellung	316
5.1.8.3	Das Konzept von Viro-Con	317
5.1.8.4	Ergebnisse und Ausblick	321
5.1.9	Automatische NC-Programmgenerierung am Beispiel des Elektronenstrahlschweißens	321
5.1.9.1	Problemstellung	321
5.1.9.2	Umsetzungskonzept	322
5.1.9.3	Ergebnisse	323
5.1.10	Verteilte Echtzeitsimulation mechatronischer Fahrzeugmodelle	323
5.1.10.1	Ausgangssituation	323
5.1.10.2	Automatisierte Modellgenerierung aus CAD-Daten	324
5.1.10.3	Kommunikationsschnittstelle für Simulationsverteilung	324
5.1.10.4	Anwendungsbeispiel: Autonomer Roboter RAVON	325
5.1.11	Virtuelles Prüffeld für die Entwicklung elektrischer Großmaschinen	327
5.1.11.1	Motivation	327
5.1.11.2	Lösungskonzept	327
5.1.11.3	Implementierung	328
5.1.11.4	Nutzen	330
5.1.12	Multiphysikalische Simulation mechatronischer Produkte am Beispiel eines Herzunterstützungssystems	330
5.1.12.1	Einleitung	330
5.1.12.2	Vorgehensweise	331
5.1.12.3	Ergebnisse der Simulation	335
5.1.12.4	Schlussfolgerungen	336
5.2	Technologiebasierte Qualifizierung – Weiterbildung und Wissenstransfer der Zukunft mit neuen Methoden des Digital Engineering and Operation	337
5.2.1	Einführung	337
5.2.2	Herausforderungen	338

5.2.3	Technologiebasierte Qualifizierung	342
5.2.3.1	Generierung der Arbeitsumgebung	343
5.2.3.2	Die didaktische Gestaltung von Lernaufgaben	344
5.2.4	Technologiebasierte Qualifizierung am Beispiel des Bedienarbeitsplatzes	351
5.2.4.1	Qualifizierung des Bedieners	351
5.2.4.2	Qualifizierung des Instandhalters	354
5.2.5	Die Nutzung von VR- und AR-Technologien	361
5.2.6	Zusammenfassung und Ausblick	361
5.2.6.1	Parallelisierung von Arbeiten und Lernen in Mixed Reality-Umgebungen	362
5.2.6.2	Individuelles und organisationales Lernen in Unternehmensprozessen	363
5.3	Morphologie des Digital Engineering and Operation	364
5.3.1	Einführung	364
5.3.2	Anwendungsbereiche	364
5.3.3	Datenquellen	365
5.3.4	Modellbildung	367
5.3.5	Assistenz in der Betriebsphase	369
5.3.6	Zusammenfassung	371
5.4	Literatur	372
Index	377