

Thomas Schmertosch
Markus Krabbes

Automatisierung 4.0

Objektorientierte Entwicklung
modularer Maschinen für die digitale Produktion

Mit 122 Bildern und 10 Tabellen



Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag

Vorwort

Seitdem die deutsche Bundesregierung den Begriff Industrie 4.0 geprägt hat, findet kaum eine ingenieurwissenschaftliche Konferenz mehr statt, in der es nicht mindestens einen Vortrag rund um dieses Thema gibt. Ganze Themenreihen, Online-Angebote und Fachbücher beleuchten Industrie 4.0 aus unterschiedlichen Perspektiven. Und in der Tat stehen wir an der Schwelle zu einer neuen Form der Industrialisierung. Aber eigentlich haben wir sie schon überschritten, und zwar schon lange.

Das Gabler-Wirtschaftslexikon definiert Industrie 4.0 wie folgt:

„Industrie 4.0“ ist ein Marketingbegriff, der auch in der Wissenschaftskommunikation verwendet wird, und steht für ein ‚Zukunftsprojekt‘ der deutschen Bundesregierung. Die sog. vierte industrielle Revolution zeichnet sich durch Individualisierung bzw. Hybridisierung der Produkte und die Integration von Kunden und Geschäftspartnern in die Geschäftsprozesse aus.

Diese Definition enthält die Kernthemen „Individualisierung von Produkten“ und die „Veränderung der Geschäftsprozesse“. Wie das genauer geschieht, ist auf der offiziellen Webseite der Bundesregierung, der *Plattform Industrie 4.0*, nachzulesen:

In der Industrie 4.0 verzahnt sich die Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik. Treibende Kraft dieser Entwicklung ist die rasant zunehmende Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft.

Damit wird die Digitalisierung zur treibenden Kraft erklärt. Und tatsächlich hat sich seit der Markteinführung von Smartphone und Co. die technische Welt tiefgreifend verändert. Das Selbstverständnis der Kunden, die lieber online einkaufen als nebenan im Tante-Emma-Laden, wachsende Ansprüche an Verfügbarkeit, Logistik, Qualität und nicht zuletzt eine geradezu extreme Preissensitivität können nicht spurlos am Produktionsumfeld vorübergehen. Somit steht für die Autoren die Frage im Fokus, welche Anforderungen diese Megatrends an die Herstellung und den Betrieb von Produktionsausrüstungen mit sich bringen.

Um sich der Antwort zu nähern, lohnt es sich, in den Publikationen der *Plattform Industrie 4.0* weiterzulesen (wie auch sonst diese Publikation viele Fragen rund um das Thema umfassend beantwortet):

Technische Grundlage hierfür sind intelligente, digital vernetzte Systeme, mit deren Hilfe eine weitestgehend selbstorganisierte Produktion möglich wird: Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte kommunizieren und kooperieren in der Industrie 4.0 direkt mitein-

ander. Produktions- und Logistikprozesse zwischen Unternehmen im selben Produktionsprozess werden intelligent miteinander verzahnt, um die Produktion noch effizienter und flexibler zu gestalten.

Damit ist eine zentrale Herausforderung benannt:

Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte sollen miteinander kommunizieren können. Tun sie das aber nicht schon seit geraumer Zeit?

Maschinen verfügen schon immer über in Umfang und Ausstattung den Anforderungen angepasste Kommunikationsmöglichkeiten. Das waren anfangs mechanische Stellelemente, wie Hebel, Stellschrauben oder Handräder. Über den Maschinenzustand haben sich die Bediener zuerst nur durch Beobachtung, Nachmessen und mit viel Erfahrung informieren können. Mit zunehmender Elektrifizierung kamen dann Schalter sowie Leuchtanzeigen und mit Einzug elektronischer Systeme auch zunehmend qualitative Instrumente wie Potenziometer und Leuchtskalen hinzu.

Schließlich erleben wir seit Einzug PC-basierter Hard- und Software in die Bedientechnik von Maschinen und Anlagen eine immer tiefergreifendere Integration von digitalisierten Methoden und Mechanismen, wie wir sie von Smartphones und Tablets kennen. Was nun *Human-Machine-Interface* (HMI) heißt, sieht diesen Geräten oft zum Verwechseln ähnlich und bietet immer mehr Komfort. Als Beispiel sei nur die *Multitouch-Technologie* genannt, die sich für das Smartphone etabliert hat und mit der auch die Bedienung von Maschinen revolutioniert wurde. Allerdings steigen mit den Möglichkeiten auch die Anforderungen an die Gestaltung der visuellen Darstellungen – ein Thema, welches den Usability-Ingenieur als neues Berufsbild generiert hat.

Neben diesem Komplex wird im vorliegenden Buch auch die direkte Kommunikation von Maschinen und Produktionsanlagen im digitalen Produktionsumfeld thematisiert.

Die Vernetzung von Produktions- und Leitebenen ist schon seit den frühen 1990er Jahren Stand der Technik. Schließlich dienen die Daten der Produktionsausrüstungen einer effektiven Produktionssteuerung und tragen somit nicht unwesentlich zur Senkung der Stückkosten bei. Auch wenn neue Kommunikationssysteme der Bürowelt wie Ethernet und WLAN in der Werkhalle längst Einzug gehalten haben, so spielt sich intermaschinelle Kommunikation immer noch nach den gleichen Prinzipien ab wie zu deren Anfängen.

Das liegt daran, dass noch heute viele Hersteller von Automatisierungstechnik eigene Vorstellungen von Datenkommunikation verfolgen. Und so bevölkern Datensammler, Bridges und sogenannte Interpreter die Werkhallen, deren Aufgabe nur darin besteht, die Daten so aufzubereiten, dass andere Maschinen bis hinauf zum Produktionsleitsystem sie verstehen können. Ein lukratives Geschäft für Ingenieurbüros und Softwaredienstleister, das hoffentlich bald zur Vergangenheit gehört.

Leider haben da auch branchenspezifische Kommunikationsstandards wie etwa *PackML* in der Verpackungs-, *JDF* in der Druck- oder *Euromap* in der Kunststoffbranche nur mäßig Entlastung gebracht. Industrie 4.0 fordert aber, dass ALLE am Herstellungsprozess beteiligten Komponenten DIREKT miteinander kommunizieren. Gerade diese Anforderung ist für die Produktion individualisierter Produkte existenziell, sodass wir uns mit diesem Thema ausführlich befassen werden.

Ein weiteres Merkmal wird auf der Plattform Industrie 4.0 wie folgt beschrieben, nämlich dass

(...) intelligente Wertschöpfungsketten entstehen, die zudem alle Phasen des Lebenszyklus des Produktes miteinschließen - von der Idee eines Produkts über die Entwicklung, Fertigung, Nutzung und Wartung bis hin zum Recycling. Auf diese Weise können zum einen Kundenwünsche von der Produktidee bis hin zum Recycling einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen mitgedacht werden. Deshalb können Unternehmen leichter als bisher maßgeschneiderte Produkte nach individuellen Kundenwünschen produzieren. Die individuelle Fertigung und Wartung der Produkte könnte der neue Standard werden.

Das heißt nichts Anderes als *Losgröße 1* anstelle von Serien- und Massenfertigung. Aber *Losgröße 1* kann nur zum Erfolg führen, wenn das individualisierte Produkt qualitativ gleichwertig und nicht teurer ist als das vergleichbare Serienprodukt. Daher heißt es auf der Plattform Industrie 4.0 weiter:

Zum anderen können trotz individualisierter Produktion die Kosten der Produktion gesenkt werden. Durch die Vernetzung der Unternehmen der Wertschöpfungskette ist es möglich, nicht mehr nur einen Produktionsschritt, sondern die ganze Wertschöpfungskette zu optimieren. (...) Die Produktionsprozesse können unternehmensübergreifend so gesteuert werden, dass sie Ressourcen und Energie sparen.

Weil die Autoren der Auffassung sind, dass die Produktionskosten trotz Individualisierung nicht nur sinken KÖNNEN, sondern grundsätzlich sinken MÜSSEN, widmen sie sich intensiv der Frage, wie das mittels modernster Automatisierungstechnik gelingen kann. Dabei wird nicht nur das individualisierte Endprodukt, sondern auch die individuelle Produktionsausrüstung betrachtet, denn beides beeinflusst die Gestaltung eines Automatisierungssystems auf unterschiedliche Art und Weise. Die sich daraus ergebenden Aspekte und Lösungsansätze bilden folgerichtig den Schwerpunkt dieses Buches.

Mit *Automatisierung 4.0* sollen sowohl dem erfahrenen als auch dem zukünftigen Ingenieur Anforderungen und Lösungswege für Automatisierungskonzepte aufgezeigt werden, die eine Produktionsanlage fit für die Zukunft und Industrie 4.0 machen.

Im Laufe der Auseinandersetzung mit diesem umfassenden Thema wurde uns immer wieder die außerordentliche Intensität bewusst, mit der sich zahlreiche Institute, Verbände und Hersteller diesen Herausforderungen stellen. Immer wieder mussten wir feststellen, dass neue Ansätze, Lösungen und Normen entstanden, von denen zu Beginn unserer Recherche noch gar keine Rede war. Typisches Beispiel dafür ist das Busprotokoll *OPC UA* in Kombination mit *Time Sensitive Networking*. Alle in diesem Buch dazu gemachten Aussagen beziehen sich auf den technischen Stand von März 2018. Gleiches gilt für die Ausführungen zur *Industrie 4.0-konformen Kommunikation*, deren Standardisierungsprozess noch einige Zeit andauern wird. Es war uns daher ein dringendes Anliegen, ergänzend zu den zahlreichen Literaturverweisen, auch Aussagen und Meinungen von involvierten Experten diverser Gremien zu integrieren, um dem Leser den aktuellsten Forschungsstand anbieten zu können.

Dafür gilt besonderer Dank Herrn Dr.-Ing. Heiko Koziolk vom Forschungszentrum der ABB AG und Mitglied im VDI/VDE-GMA-Fachausschuss „Industrie 4.0“. Besonders ihm haben wir zu verdanken, dass wir die zahlreichen Publikationen der *Plattform Industrie 4.0* mit den neuesten Entwicklungen abgleichen und in diesem Buch konsolidiert abbilden konnten.

Gleiches gilt für Herrn Sebastian Sachse, der als Mitarbeiter der Business Unit Open Automation Technologies die Firma B&R Industrial Automation GmbH in zahlreichen interna-

tionalen Gremien vertritt. Durch seine Hinweise konnten die Darstellungen rund um das Thema *Kommunikation* ebenfalls mit den aktuellsten Daten und Fakten versehen werden.

Wir danken Herrn Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter von Dreusche, Head of Electrotechnical Engineering Unit der Firma Trützschler GmbH & Co. KG, für den intensiven Gedankenaustausch zum Thema *objektorientierte Modularisierung*. Ihm ist zu verdanken, dass wir diese Methode so fundiert und mit praktischem Hintergrund anbieten können. Ebenso danken wir Herrn Prof. Dr. rer. nat. Matthias Krause für den Gedankenaustausch und die fachliche Beratung zu diesem Thema.

Des Weiteren danken wir den zahlreichen Mitarbeitern der Firma B&R Industrial Automation GmbH, ohne deren Unterstützung und fachliche Beratung eine umfassende und aktuelle Darstellung der praktischen Themen nicht möglich gewesen wäre. Besonders danken wir Herrn Franz Kaufleitner, Produkt Manager für Integrated Safety Technology bei B&R, für die zahlreichen Hinweise und die Unterstützung zum Thema *Sicherheitstechnik* und Herrn Franz Enhuber, Leiter der B&R Automation Academy. Die zahlreichen Gespräche mit ihm waren besonders hilfreich für die Analyse der Marktanforderungen und der Entwicklungstrends moderner Automatisierungstechnik. Nicht zuletzt bedanken wir uns beim gesamten B&R-Marketingteam und seinem Corporate Editor Herrn Stefan Hensel für die Bereitstellung des zahlreichen Bildmaterials sowie Herrn Markus Sandhöfner, Geschäftsführer der B&R Industrie Elektronik GmbH Deutschland.

Für die Bereitstellung von Bildmaterial danken wir auch den Firmen Fomanu AG Neustadt, der Sick AG Waldkirch, der Pilz GmbH & Co. KG Ostfildern sowie der Buchbinderei Johst in Wermsdorf und vielen anderen.

Wir bedanken uns bei Frau Dipl.-Ing. (FH) Franziska Kaufmann, bei Herrn Manuel Lepert, M. A. und allen Mitarbeitern des Fachbuchverlages Leipzig für die sehr gute Zusammenarbeit.

Besonderer Dank gilt meinem Co-Autor Prof. Dr.-Ing. Markus Krabbes, Prorektor Forschung der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK), der mir neben zahlreichen Anregungen vor allem den Startimpuls für dieses Buch gab und mit dem Verfassen des Kapitels 3 *Projektierung modularer Maschinen* einen sehr wesentlichen Aspekt beisteuerte.

Was ist ein Autor ohne tatkräftige Unterstützung seiner Familie? Nichts. In diesem Sinne möchte ich ganz besonders meiner Familie danken, die verständnisvoll und mit viel Geduld die Arbeit an diesem Buch begleitet und ermöglicht hat.

Leipzig, im Juli 2018

Thomas Schmertosch

Inhalt

1	Automatisierung 4.0 – Anforderungen und Perspektiven	13
1.1	Wahrnehmung von Industrie 4.0	13
1.2	Trends und Anforderungen im Maschinen- und Anlagenbau	18
1.2.1	Endprodukte bestimmen die Richtung	18
1.2.2	Der Engineering-Prozess verändert sich	19
1.2.3	Effizienz entscheidet über Erfolg	21
1.2.4	Service schafft Vertrauen	26
1.2.5	Qualität ist bedingungslos	27
1.2.6	Wandelbarkeit macht fit für die Zukunft	29
1.2.7	Sicherheit muss sein	30
1.2.8	Neue Technologien in Erfolge umsetzen	36
1.2.9	Digitale Produktion	39
1.3	Schlussfolgerungen	41
1.4	Literatur	42
2	Entwurf modularer Maschinen und Anlagen	45
2.1	Definition und Eigenschaften von Modulen	46
2.1.1	Modularität	46
2.1.2	Funktionalität	49
2.1.3	Zustand und Zustandsänderungen	50
2.1.4	Kompatibilität	53
2.2	Modularität im Kontext zu Industrie 4.0	55
2.2.1	Objekte und Entitäten	56
2.2.2	Methoden und Funktionen	59
2.2.3	Botschaften und Dienste	60
2.2.4	Die I4.0-Komponente	62
2.2.4.1	Das Referenz-Architektur-Modell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)	63
2.2.4.2	Technische Assets	64
2.2.4.3	Assets in der Informationswelt	67
2.2.4.4	Die Verwaltungsschale	69
2.2.4.5	Interaktion von I4.0-Komponenten	73

2.3	Methoden der Modularisierung	76
2.3.1	Etablierte Entwurfsmethoden	77
2.3.2	Zielanalyse der Anforderungen	78
2.3.2.1	Produktsicht	80
2.3.2.2	Investitionssicht	83
2.3.2.3	Standortsicht	86
2.3.2.4	Herstellersicht	89
2.3.3	Konstruktive Detailanalyse	91
2.4	Modellierung	97
2.4.1	Entwurf einer funktionalen Struktur	97
2.4.1.1	Das Funktions- und Klassendiagramm	97
2.4.1.2	Das Zustandsdiagramm	101
2.4.1.3	Das Interaktionsdiagramm	104
2.4.2	Entwurf einer modularen Konstruktion	107
2.4.2.1	Das Moduldiagramm	107
2.4.2.2	Qualitatives Modulschema	114
2.4.3	Entwurf des Automatisierungssystems	117
2.4.3.1	Hardwarekonzept	117
2.4.3.2	Softwarekonzept	120
2.5	Zusammenführung und Fazit	123
2.6	Literatur	128

3 Digitale Projektierung von Maschinen 131

3.1	Spezifikation als Ausgangspunkt einer Projektierung	131
3.2	Projektierung nach dem V-Modell	132
3.3	V-Modell in der Anwendung	137
3.4	Übertragbarkeit des interdisziplinären Mechatronikansatzes	147
3.5	Literatur	150

4 Modulare Automatisierung in der Praxis 151

4.1	Sukzessive Modularisierung	151
4.1.1	Szenarien einer sukzessiven Modularisierung	153
4.1.2	Dezentralisierte Hardware ist möglich	154
4.1.3	Dezentralisierte Hardware ist eingeschränkt möglich	157
4.1.4	Dezentralisierte Hardware ist nicht möglich	158
4.1.5	Heterogene Automatisierungstechnik	162
4.1.6	Zusammenfassung	163
4.2	Echtzeitfähigkeit dezentraler Systeme	163
4.2.1	Reaktionszeit - Definition und Anforderungen	164
4.2.2	Jitter - die große Unbekannte	172
4.2.3	Kurze Reaktionszeiten in dezentralen Strukturen	176
4.2.3.1	Erhöhung der Systemleistung	178
4.2.3.2	Interrupt basierte Systeme	180
4.2.3.3	Intelligente Feldgeräte	182
4.2.3.4	Spezialentwicklungen	184
4.2.3.5	Intelligente I/O-Module	185

4.2.4	Zusammenfassung und Lösungsbeispiele	189
4.2.4.1	Dickenmessung sammelgehefteter Broschüren	189
4.2.4.2	Fehlbogenkontrolle	193
4.3	Maschinensicherheit	194
4.3.1	Anwendung der Maschinenrichtlinie in modularen Systemen ..	194
4.3.2	Sicherheitstechnik im Überblick	197
4.3.3	Sichere Steuerungstechnik	202
4.3.4	Sicherheitstechnik ergänzen oder integrieren?	207
4.3.5	Zusammenfassung	211
4.4	Kommunikation ist (fast) alles	212
4.4.1	Industrielle Kommunikation im Überblick	212
4.4.2	Ethernet-basierte Feldbusse - Eigenschaften und Arbeitsweise ..	217
4.4.3	OPC UA im Industrial Ethernet	222
4.4.4	Sichere Kommunikation - Safety	227
4.4.5	Sichere Kommunikation bis in die Cloud - Security	230
4.4.6	Zusammenfassung	234
4.5	Literatur	234
5	Automatisierung 4.0 im Überblick	237
■	Index	241