



Felix Hüning

Embedded Systems für IoT



Embedded Systems für IoT

Felix Hüning

Embedded Systems für IoT

Felix Hüning
FB5: Elektro- und Informationstechnik
FH Aachen
Aachen, Deutschland

ISBN 978-3-662-57900-8 ISBN 978-3-662-57901-5 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57901-5>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Digitalisierung, Internet of Things, Industrie 4.0 – die Zukunft ist ebenso spannend wie herausfordernd. Dabei stehen eingebettete Systeme immer mehr im Mittelpunkt, um intelligente und vernetzte Anwendungen zu realisieren, von kleinen mobilen Geräten bis hin zu smarten Fabriken und Häusern oder autonomen Systemen. Entsprechend der weiten Bandbreite an Systemen und Anwendungsgebieten sind auch die eingesetzten eingebetteten Systeme sehr unterschiedlich, sowohl im Hinblick auf die Anforderungen als auch im Hinblick auf die hard- und softwaretechnische Realisierung und ihre Komplexität. Dabei liegt der Fokus bei der Entwicklung in der Regel auf der Anwendung, also auf der konkreten Funktionalität des Systems, nicht auf der technischen Realisierung der untersten Hard- und Softwareebene. Daher sollen moderne Komponenten und Entwicklungstools den Entwickler möglichst derart unterstützen, dass er sich auf die Anwendungsentwicklung konzentrieren kann.

Der Fokus auf die Anwendung ist sicherlich richtig und wichtig, aber Anwendungsentwicklung ohne Kenntnis der zugrunde liegenden Komponenten und Konzepte ist bei eingebetteten Systemen schwer möglich. Von daher soll das vorliegende Buch einen Überblick über den Aufbau, die Komponenten und Methoden von eingebetteten Systemen derart geben, dass eine fundierte Systementwicklung ermöglicht wird. Dazu werden die theoretischen Aspekte in einem Praxisprojekt umgesetzt, um dem Leser die Möglichkeit zu geben, direkt praktische Erfahrungen mit einem eingebetteten System und der Anwendungsentwicklung zu machen. Das verwendete System ist ein S7G2 Starter Kit von Renesas Electronics mit einem Mikrocontroller, der dem aktuellen Stand der Technik entspricht und weltweit in unzähligen kleinen und großen Projekten industriell eingesetzt wird.

Das Buch beruht auf einer Vorlesung an der FH Aachen, Elektronik für Automatisierungstechnik. In dieser Vorlesung wird mit den Studierenden der Bogen von den Grundlagen der Mikrocontrollertechnik bis hin zur Anwendungsentwicklung mittels moderner Entwicklungswerkzeuge geschlagen. Dabei entwickeln die Studierenden auch eine eigene Anwendung aus dem Bereich Internet of Things oder Industrie 4.0 und können dabei ihrer Kreativität in der Umsetzung freien Lauf lassen. Mittels des S7G2 Starter

Kits entstehen so Anwendungen wie eine vernetzte Cocktail-Maschine, eine Anlagensteuerung über Ethernet oder ein Retro-Videospiel. Diese Beispiele sollen den Leser dazu ermutigen, selber mit dem Starter Kit eigene Projekte zu realisieren – mit dem Fokus auf der Anwendung!

Das Buch verfolgt einen konsequenten Bottom-Up Ansatz. Nach einer Einführung in die Themen Internet of Things und Industrie 4.0 werden zunächst Hardware-Komponenten von eingebetteten Systemen vorgestellt, insbesondere Mikrocontroller und deren Anbindung auf einem PCB. Anschließend wird die Entwicklungsumgebung dargestellt, mit der die Programmentwicklung sowie das Programmieren und Debuggen des Mikrocontrollers durchgeführt wird. Die anschließenden Softwarekapitel starten auf der untersten Ebene, dem Board Support Package und der Hardwareabstraktionsschicht. Das Konzept von Echtzeit und Echtzeitbetriebssystemen sowie der Integration in ein eingebettetes System stellt einen zentralen Teil des Buchs dar, da eingebettete Systeme sehr häufig Anforderungen an das Echtzeitverhalten haben. Es folgte eine Beschreibung der höheren Softwareschichten wie der Middleware oder Vernetzungslösungen. Abgeschlossen wird das Buch durch ein Praxisprojekt, das auf dem S7G2 Starter Kit basiert und in dem der Leser Schritt für Schritt durch den oftmals holprigen und nervigen Teil des Aufsetzens eines neuen Projekts geführt wird. Ziel ist es dabei, eine kleine smarte Anwendung zu realisieren, die typisch ist für eingebettete Systeme: Sensordaten auslesen und über Ethernet an einen PC übertragen.

Zahlreiche Kommentare von Kollegen und viele Fragen und Anregungen von Studierenden haben dazu beigetragen, dass dieses Buch so realisiert werden konnte. Herrn Patrick Zgoda und Herrn Holger Willing gilt mein Dank für die Unterstützung in der Entwicklung des Praxisprojekts und bei der Erstellung der zahlreichen Abbildungen. Viele fachliche und konstruktive Diskussionen gabe es mit Andrea Nuyken, Steve Norman, Karol Saja und Giancarlo Parodi von Renesas Electronics, Experten für die Renesas Synergy Plattform. Herrn Sollfrank vom Springer Verlag gilt mein Dank für das Lektorat und die gute Unterstützung während der Entstehung dieses Buchs.

Aachen
im Sommer 2018

Felix Hüning

Inhaltsverzeichnis

1	Internet of Things und Industrie 4.0	1
	Literatur	10
2	Eingebettete Systeme	11
2.1	Zentrale Recheneinheit	14
2.2	Sensoren	15
2.3	Aktoren	16
	Literatur	17
3	Mikrocontroller	19
3.1	Peripherie-Module	21
3.2	ARM®-Architektur	31
3.3	Renesas Synergy™ Mikrocontroller	35
3.3.1	S1-Serie	38
3.3.2	S3-Serie	38
3.3.3	S5-Serie	39
3.3.4	S7-Serie	40
3.3.5	S7G2 Mikrocontroller	42
	Literatur	51
4	Hardware und Starter Kits	53
4.1	S7G2 Starter Kit	55
	Literatur	57
5	Entwicklungsumgebung	59
5.1	IDE e ² studio	61
	Literatur	68
6	Board Support Package	69
6.1	Synergy Board Support Package	70
	Literatur	75

7	Hardware-Abstraktionsschicht	77
7.1	Synergy Hardware Abstraction Layer	83
	Literatur.	88
8	Echtzeitbetriebssystem	89
8.1	Synergy RTOS	106
	Literatur.	111
9	Frameworks und Functional Libraries	113
9.1	Synergy Application Framework und Functional Libraries	118
	Literatur.	123
10	Middleware	125
10.1	Synergy Middleware	126
10.1.1	FileX	127
10.1.2	GUIX	130
	Literatur.	132
11	Vernetzung	133
11.1	UART	143
11.2	I ² C	144
11.3	CAN	144
11.4	Ethernet	146
11.5	USB	149
11.6	Synergy Vernetzungslösungen	150
11.6.1	I ² C	151
11.6.2	Ethernet und TCP/IP	151
11.6.3	USB	154
	Literatur.	155
12	Entwicklung und Test von eingebetteten Systemen	157
	Literatur.	163
13	Praxisprojekt	165
13.1	Projektvorstellung, Installation und Inbetriebnahme des Starter Kits ...	166
13.2	BSP	174
13.3	HAL & RTOS	177
13.4	Framework	181
13.5	Vernetzung	184
	Sachverzeichnis	193

Internet of Things (Internet der Dinge) und Industrie 4.0 – zwei Schlagwörter für die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung von aller Art von Systemen. Wirklich präzise Definitionen für diese beiden Ausdrücke existieren nicht, dennoch hat jeder irgendein Verständnis davon, was diese Worte ausdrücken sollen. Daher zunächst eine kurze Begriffsdefinition für die beiden Ausdrücke, um ein gemeinsames Verständnis zu haben.

Kommunikation war die meiste Zeit über eine rein zwischenmenschliche Angelegenheit, sei es direkt oder per Kommunikationsmedien wie Telefon. Dies änderte sich mit dem Aufkommen des Internets in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts. Zunächst war es nur ein smartes Netzwerk zum Austausch und zur Darstellung von Daten und Informationen und Kommunikationsdiensten wie E-Mail. Durch die Einbindung zunehmend komplexer Dienste und Anwendungen wie Online-Handel entwickelte sich das World Wide Web weiter zum „Web 2.0“. Endgeräte wie PCs waren immer noch größtenteils stationär. Dies änderte sich mit dem Aufkommen von internetfähigen mobilen Endgeräten wie Smartphones oder Tablets. Durch die Kombination der Mobilgeräte mit leistungsfähigen Anwendungen bzw. Apps wurde das Internet zum „Internet der Menschen“. So ermöglichen soziale Medien wie Facebook, Instagram oder WhatsApp heute eine völlig neue Art der Kommunikation zwischen Menschen. Im nächsten Schritt wird die Kommunikation vom Menschen entkoppelt und findet direkt zwischen Geräten statt – wir sind beim Internet der Dinge oder Internet of Things (IoT) angekommen. Durch die rasante Miniaturisierung der Elektronik und Komponenten wie Sensoren können nicht nur große und teure Maschinen mit der entsprechenden Intelligenz und Vernetzung ausgestattet werden, sondern selbst kleine Gegenstände und Dinge werden intelligent und können Daten und Informationen generieren. So werden reale und virtuelle Objekte sowie Menschen miteinander vernetzt und die Inhalte, die so über das Internet übertragen werden, sind nicht mehr nur von Menschen generiert, sondern zunehmend von den vernetzten Dingen und Objekten selber. Schon 2010 prognostizierte Hans Vestberg, CEO

von Ericsson: „Today we already see laptops and advanced handsets connected, but in the future everything that will benefit from being connected will be connected.“ [1]. Diese Vorhersage erfüllt sich derzeit vollständig, wobei das „... that will benefit from being connected...“ heute getrost gestrichen werden kann: alles wird vernetzt, von der Industrieanlage über das Auto bis zum Kühlschrank und Kleidungsstück. Als Konsequenz der rasant zunehmenden Vernetzung im Internet der Dinge explodiert die Zahl der vernetzten Teilnehmer geradezu (s. Abb. 1.1).

Waren zu Beginn des Jahrtausends noch hauptsächlich Menschen vernetzt, so übersteigt die Zahl der vernetzten Objekte inzwischen die menschlichen Internetnutzer um ein Vielfaches, sodass für 2020 mit ca. 30 Mrd. vernetzten Dingen gerechnet wird. All diese vernetzten Geräte generieren eine riesige Menge an Daten in der Größenordnung von einigen zehn Zetabytes, wobei ein Zetabyte gleich 10^{21} Bytes oder 1 Mrd. Terabyte entspricht. Diese Daten werden dezentral und jederzeit erzeugt und ausgetauscht und ermöglichen, Stichwort Big Data, völlig neue Anwendungen, Funktionen und Geschäftsmodelle – solange man diese Datenflut sinnvoll analysieren und auswerten kann, um relevante Informationen daraus zu extrahieren.

Neben dem IoT ist der Begriff Industrie 4.0 das zweite große Schlagwort, das insbesondere im Umfeld der Digitalisierung der Industrie oft verwendet wird. Ursprung des Begriffs Industrie 4.0 war ein Projekt der Hightech-Strategie der deutschen Bundesregierung [3]. Dabei wird die Digitalisierung und Vernetzung der Industrie in einen geschichtlichen Kontext von industriellen Revolutionen gesetzt.

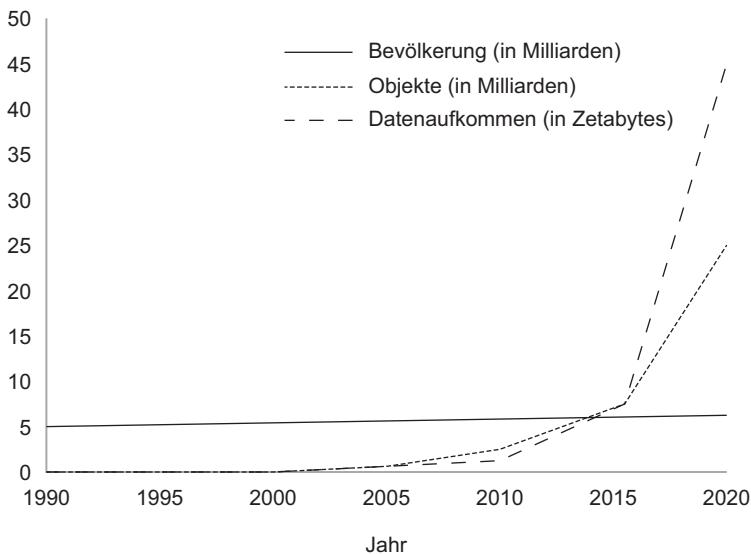


Abb. 1.1 Entwicklung der Bevölkerungszahl im Vergleich zur Anzahl an vernetzten Geräten und dem Datenaufkommen [2]

Der erste Schritt der Industrialisierung war ab ca. 1800 die Mechanisierung der Arbeit durch mechanische Produktionsanlagen, die durch Wasser- oder Dampfkraft angetrieben wurden – „Industrie 1.0“. Diese Entwicklung erhöhte die Effizienz und Produktivität dramatisch, z. B. von mechanischen Webstühlen in der Textilindustrie, und ermöglichte neue Transportmöglichkeiten wie die ersten Eisenbahnen.

Grundlage für den nächsten revolutionären Schritt zur „Industrie 2.0“ war die Einführung der Elektrizität als Antriebskraft Ende des 19. Jahrhunderts. Die zugrunde liegende Idee der „Industrie 2.0“ war die Massenproduktion in fest angeordneten und maschinenunterstützten Produktionslinien im Gegensatz zur manuellen Handarbeit. Die Massenproduktion basiert auf dem Prinzip der Arbeitsteilung, wie sie von Henry Ford bei der Produktion des Ford Model T im großen Maßstab ab dem frühen 20. Jahrhundert eingesetzt wurde, und erste Automatisierungen von Arbeitsprozessen. Durch die Arbeitsteilung, z. B. bei der Akkordarbeit am Fließband, konnte die Produktivität erneut wesentlich gesteigert und die Kosten erheblich gesenkt werden. Ohne diese neue Produktionsweise wäre es z. B. nicht möglich gewesen, einen vormals Luxusgegenstand wie ein Automobil als Massenware für große Käuferschichten zu produzieren.

Bei der dritten industriellen Revolution hin zu „Industrie 3.0“ stand die weitere Automatisierung der Arbeit und Produktionsprozessen durch Elektronik und Informationstechnik im Vordergrund. Treiber hierfür waren die rasanten Entwicklungen in der Mikroelektronik. Durch immer kleinere und schnellere integrierte Schaltungen konnten Bauteile wie Mikroprozessoren oder Mikrocontroller mit immer größerer Rechenleistung entwickelt werden, die die Basis für den Siegeszug von Computern bilden. Durch die sukzessive Automatisierung von Arbeitsschritten wird die menschliche Arbeitskraft zunehmend durch Maschinen ersetzt. Im Zuge der Automatisierungstechnik hielten komplexe Industrieroboter und elektronische Steuerungen, z. B. als speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), in der Produktion Einzug. Diese Automatisierung ist heute Standard in weiten Bereichen der Industrie und wird gemäß DIN IEC 60050-351:2014-09 als „Das Ausrüsten einer Einrichtung, sodass sie ganz oder teilweise ohne Mitwirkung des Menschen bestimmungsgemäß arbeitet“ definiert [4]. Wie der Begriff „teilweise“ andeutet, ist der Grad der Automatisierung flexibel und reicht von der einfachen Automatisierung einzelner Prozessschritte bis hin zum vollständig automatisierten und autonomen Betrieb des Systems. Beispiele für automatisierte Systeme findet man in allen Bereichen, bei der Heimautomatisierung, bei Geräten wie Kaffee- oder Waschmaschinen, im Energiebereich oder im Automobil. Dabei stellen moderne Fahrzeuge und ihre Systeme ein intuitives Beispiel für die unterschiedlichen Automatisierungsgrade dar, wie in Abb. 1.2 dargestellt.

Ohne Assistenzsystem muss der Fahrer alle Aufgaben übernehmen (Stufe 0). In Stufe 1 unterstützen Assistenzsysteme den Fahrer bei der Längsführung des Fahrzeugs. Beispiel ist der Abstandsregeltempomat (ACC, Adaptive Cruise Control), der die Geschwindigkeit des Fahrzeugs an den vorausfahrenden Verkehr anpasst, ohne dass der Fahrer die Pedale bedienen muss, der aber, wie bis einschließlich Stufe 3, das Fahrzeug und das System überwachen muss. In der nächsten Stufe 2 übernimmt das

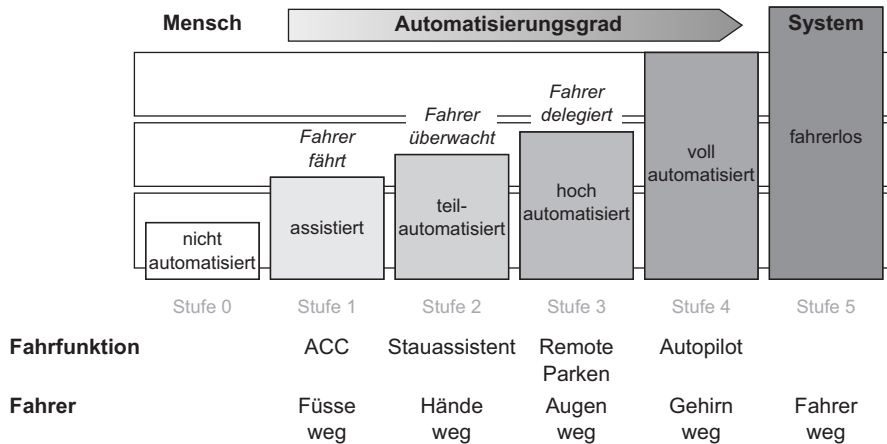


Abb. 1.2 Automatisierungsgrade im PKW nach VDA [5]

Fahrzeug zusätzlich noch die Querführung des Fahrzeugs, zumindest in bestimmten Fahrsituationen. Beispielsweise kann ein Stauassistent das Auto selbstständig während eines Staus fahren und den Fahrer damit um die Pedal- wie Lenkradbedienung entlasten. Überwacht wird weiterhin jederzeit vom Fahrer. Stufe 3 ist dadurch gekennzeichnet, dass in dedizierten Situationen der Fahrer die Fahraufgabe komplett an das Fahrzeug übergeben kann, beispielsweise bei einem Parkassistenten, der per App und Smartphone gesteuert wird. Von voll automatisiertem Fahren spricht man ab Stufe 4, wenn das Auto auch ohne Überwachung des Fahrers fährt und alle Fahrfunktionen selbstständig durchführt. Der Fahrer kann dann, wie bei einem Autopiloten, die Zeit anderweitig nutzen, z. B. zum Arbeiten oder Lesen, muss aber unter Umständen innerhalb einer gewissen Zeitspanne wieder die Kontrolle über das Auto übernehmen können. Die letzte Stufe bildet dann das autonome Fahren, wenn das Auto derart selbstständig fahren kann, dass auch keine Intervention des Fahrers mehr benötigt wird.

Die Ziele, die mit der Automatisierung verfolgt werden, sind vielfältig:

- Steigerung der Produktivität
- Kostenreduktion
- Reduktion von Arbeit
- Flexibilität
- Geringerer Energieeinsatz
- Verbesserung der Qualität und Zuverlässigkeit
- Sichere Produktion

Automatisierungssysteme sind häufig hierarchisch aufgebaut, z. B. in Form einer sogenannten Automatisierungspyramide (Abb. 1.3). Funktionen werden dabei in Ebenen

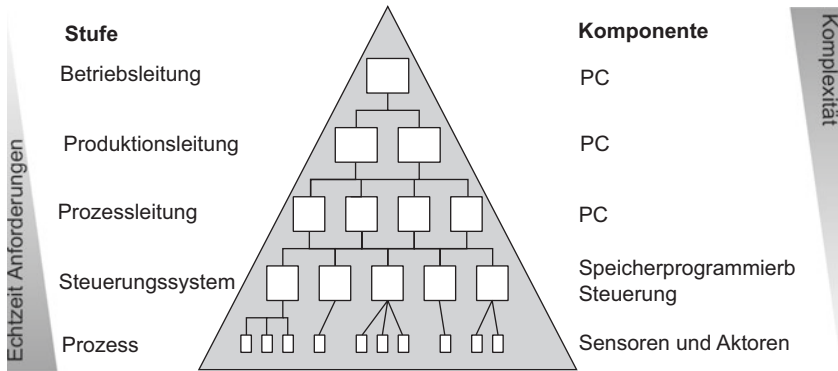


Abb. 1.3 Automatisierungspyramide

zusammengefasst, wie in der Prozess- oder Feldebene, der Steuerungsebene oder der Unternehmensebene. Innerhalb der Ebenen und zwischen den Ebenen gibt es jeweils passende Vernetzungen, um Daten auszutauschen. Sensoren und Aktoren bilden die unterste Feldebene, die eine geringe Komplexität aufweist, dafür in der Regel aber hohe Echtzeitanforderungen hat. Mit aufsteigender Hierarchie steigt die Komplexität und sinken die Echtzeitanforderungen.

Der Schritt von „Industrie 3.0“ zu „Industrie 4.0“ beschreibt dann den Trend in Automatisierungssystemen weg von den streng hierarchischen Strukturen und hin zu einer modular aufgebauten, intelligenten Fabrik, die intensiv auf intelligente Geräte, IoT und Software aufbaut. Diese Kombination von intelligenten Maschinen, Geräten und Sensoren, Vernetzung und mächtigen Algorithmen bildet sogenannte cyber-physische Systeme (Cyber Physical Systems, CPS, Abb. 1.4 und 1.5). Dabei basiert die Idee von

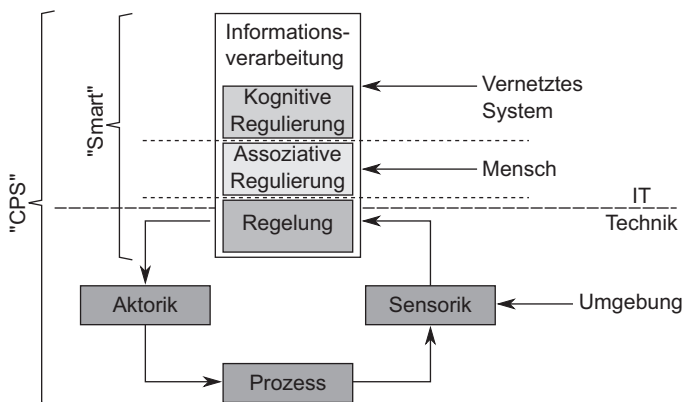


Abb. 1.4 Dreischichtenmodell zur Darstellung von CPS [6]

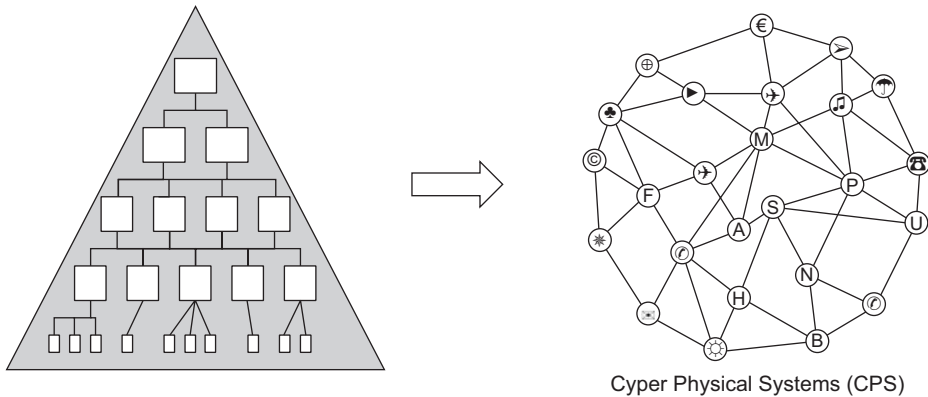


Abb. 1.5 Von der hierarchischen Automatisierungspyramide zum Cyber Physical System (CPS)

Industrie 4.0 und CPS auf dem Dreischichtenmodell der Kognitionswissenschaft [6]. Auf der technischen Ebene findet die kontinuierliche regelungstechnische Kontrolle des Systems statt, d. h. die Beobachtung des Grundsystems durch geeignete Sensoren, die Informationsverarbeitung nach festen Regel- bzw. Steueralgorithmien sowie die Rückwirkung auf das System durch die Aktorik. Bei der assoziativen Regulierung wird mittels Konditionierung die starre Kopplung zwischen den Reizen (Sensorsignalen) und Reaktion (Aktorik) aufgebrochen, sodass Reaktion und Reize situative unterschiedlich verbunden werden können. Die oberste Schicht, die kognitive Regulierung, führt die Planung zur Erreichung von Zielen ein. Ein Reiz führt nicht direkt zu einer Reaktion, sondern wird zunächst im Sinne der übergeordneten Ziele evaluiert und bewertet und daraus dann Reaktionen geplant. Damit wird künstliche Intelligenz mit ihrer Fähigkeit zum Lernen, Planen und Handeln ein zentraler Bestandteil dieser kognitiven Regulierung, die dabei durchaus durch ein verteiltes und vernetztes System technisch realisiert sein kann. Nimmt man alle drei Schichten mit dem zu Grunde liegenden technischen System zusammen, so wird dies als CPS bezeichnet.

Diese CPS können somit mehr oder weniger autonom arbeiten – ohne oder zumindest mit sehr eingeschränkter menschlicher Bedienung. Da durch die Vernetzung prinzipiell alle Daten online zur Verfügung stehen, eröffnen sich so viele interessante Möglichkeiten und Geschäftsmodelle, wie zum Beispiel eine dezentrale Produktion oder eine verbesserte Logistik. Mitarbeiter können als augmented operator durch die Unterstützung von mobilen Endgeräten wie einer Datenbrille unterstützt werden und die Ausfallzeiten von Maschinen kann durch eine vorausschauende Wartung (predictive maintenance) reduziert werden.

Neben den rein technischen Aspekten wie der Digitalisierung, den Automatisierungsgraden oder der Vernetzung spielt dann auch noch die Interaktion von Menschen mit den Maschinen, Robotern oder „Things“ eine entscheidende Rolle, insbesondere, wenn der Mensch als Teil der IoT betrachtet wird. Der Mensch soll mittels seiner Aktorik auf die

Maschine einwirken können und über seine fünf Sinne eine Rückmeldung erhalten. Für unterschiedliche Anwendungsgebiete gab und gibt es die unterschiedlichsten Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMI, Mensch-Maschine-Interface bzw. HMI, Human Machine Interface) wie einfache Schalter und Bedienelemente oder Signallichter, die aber vielfach wenig intuitiv und wenig natürlich im Sinne der menschlichen Kommunikation sind und waren. Die heutzutage rasant fortschreitende Entwicklung der Steuerung einer Funktion kann am Beispiel des Telefonierens verdeutlicht werden. Die ersten Telefone waren kabelgebunden, manuell zu bedienen und sprachgesteuert – wobei die Sprache dazu genutzt wurde, einem Mitarbeiter einer Vermittlungsstelle die gewünschte Verbindung durchzugeben, damit dieser die manuell herstellen konnte. Die ersten Automatisierungsschritte kamen mit den Wählscheiben und der damit verbundenen automatischen Gesprächsverbindung. Einfache Eingabe per Finger und Wählscheibe, Feedback an den Gehörsinn durch Wahlgeräusche sowie das haptische Feedback durch die bewegte Scheibe. In den 80er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts kamen dann Tastentelefone auf, bei denen die Wählscheibe durch eine Zahlentastatur ersetzt wurde, die dem Nutzer immer noch eine haptische Rückmeldung gab. Mit der Entwicklung von Mobiltelefonen und insbesondere Smartphones änderte sich die Interaktion rasant. Waren die ersten Mobiltelefone noch mit einer Tastatur ausgestattet, aber schon nicht mehr kabelgebunden, so kam mit dem Smartphone eine völlig neue MMI in die Kommunikation, der Touchscreen. Dieser berührungsempfindliche Bildschirm revolutionierte die Interaktion, da völlig neue Bewegungen erkannt werden können und der Bildschirm völlig flexibel Informationen darstellen kann. Die Eingabe beim Wählen erfolgt per Druck auf einen glatten Bildschirm, sodass es kein wirkliches haptisches Feedback mehr gibt, und das akustische Feedback kann ein- oder ausgeschaltet werden. Im nächsten Schritt kann dann die Berührung wegfallen, wenn das Smartphone in der Lage ist, Gesten, die über dem Gerät dargestellt werden, zu erkennen. Damit ist auch das haptische Feedback Geschichte. Um die Bedienung noch intuitiver und menschlicher zu machen, können inzwischen viele Smartphones (und viele andere Geräte, von der Sprachsteuerung im Auto bis zum intelligenten persönlichen Assistenten Alexa) sprachgesteuert werden, sodass der Mensch in seiner natürlichen Kommunikationsart mit der Maschine interagieren kann.

Industrie 4.0 ist demnach ein Hilfsmittel, um mittels CPS einen hohen Nutzen aus dem Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation zu erreichen, um die oben aufgeführten Ziele der Automatisierung möglichst vollständig zu erreichen. Damit stellen die Ziele der Automatisierung auch bereits einige Vorteile von Industrie 4.0 dar, wie die Autonomie des Betriebs, eine höhere Flexibilität, Reduktion von Arbeit und Kosten sowie eine höhere Zuverlässigkeit. Diese Vorteile beziehen sich aber insbesondere auf bestehende Anwendungen und Systeme. Eine große Dynamik bezieht Industrie 4.0 aber daraus, dass durch die CPS völlig neue Anwendungen und Geschäftsmodelle entwickelt und realisiert werden können. So können die anfallenden Daten, die auch noch durch die Vernetzung überall verfügbar sind, im Sinne von Big Data analysiert und ausgewertet, um daraus neue Informationen und Erkenntnisse zu ziehen, die wiederum zur

Verbesserung von Geschäftsmodellen oder Produkten genutzt werden können. Beispielhaft sei die Echtzeit-Verkehrsdatenerfassung erwähnt: zunächst wurde die Vernetzung mittels Smartphones ausgenutzt, um Daten über Position und Geschwindigkeit von Autos zu sammeln und daraus Informationen in Echtzeit zum Verkehrsfluss zu ermitteln und in elektronischen Karten darzustellen. Im nächsten Schritt wird auch das Auto vernetzt, sodass dann die zahlreichen Sensordaten des Autos über die Vernetzung übertragen werden können. Damit steht ein riesiger Datenpool zur Verfügung, der nicht nur die Live-Verkehrserfassung erlaubt, sondern darüber hinaus weitere Anwendungen. Wenn im Winter an bestimmten Stellen viele Autos den Eingriff des ESP (Elektronischen Stabilitätsprogramms) melden, so kann daraus gefolgert werden, dass es dort glatt ist. Dementsprechend könnten andere Autofahrer gewarnt werden oder auch die Streudienste dort bevorzugt streuen, um die Gefahr zu entschärfen.

Nachteilig an Industrie 4.0 ist sicherlich die große Komplexität, die die Systeme und Anwendungen haben. Für die Entwicklung, den Betrieb und die Wartung werden spezialisierte Mitarbeiter benötigt, sodass die Ausbildung in technischen Berufen, insbesondere der Elektrotechnik, der Informatik, der Robotik und künstlichen Intelligenz in Zukunft immer wichtiger werden wird, nicht nur in der Ausbildung, sondern auch beim lebenslangen Lernen. Auch das Thema Sicherheit (funktional und datentechnisch) stellt eine große Herausforderung dar. Und die Investitionen in eine geeignete Industrie 4.0 Strategie sowie deren Umsetzung können sehr hoch sein. Arbeitstechnisch bzw. sozialwissenschaftlich ist sicherlich die Umwälzung der Arbeit durch Industrie 4.0 eine riesige Herausforderung, da immer mehr einfache Arbeiten entfallen und spezialisierte und gut ausgebildete Fachkräfte benötigt werden.

Was braucht man alles, um IoT und Industrie 4.0 Anwendungen zu realisieren? Nun, das hängt davon ab... von der Anwendung selber natürlich, aber auch von den Anforderungen, dem System, der Umgebung, ... Ein derart großes Feld, dass eine generelle Antwort nicht möglich ist. Aber einige Grundelemente und Eigenschaften findet man eigentlich in allen IoT und Industrie 4.0 Systemen, und diese sollen im folgenden Kapitel kurz vorgestellt werden. Zentrale Elemente von IoT und Industrie 4.0 Anwendungen sind sicherlich die eingebetteten Systeme mit ihren digitalen Recheneinheiten. Dazu gehören auch Komponenten wie Sensoren, die die relevanten Parameter und Größen des Systems messen oder die intelligente Hardware zur Ausführung der Software und Applikationsalgorithmen. Aktoren (oder Aktuatoren) wiederum werden von der intelligenten Hardware angesteuert und wirken auf das Zielsystem oder den technischen Prozess, um ihn gemäß der Anwendung zu beeinflussen. Natürlich darf bei IoT und Industrie 4.0 Anwendungen auch die Vernetzung nicht fehlen, wobei diese sowohl direkt zum Internet oder auch über andere Kommunikationsschnittstellen zu anderen Systemen gehen kann. Zusätzliche Komponenten, die immer wichtiger werden, sind alle Arten von Bedienelementen und graphische Bedienoberflächen (Graphical User Interface, GUI) oder Touchdisplays.

Zu den immer wichtiger werdenden Eigenschaften von IoT und Industrie 4.0 Anwendungen gehören Zuverlässigkeit, Echtzeitfähigkeit und Sicherheit – wobei es das

deutsche Wort Sicherheit nicht ganz trifft, um die gemeinten Eigenschaften „safety“ und „security“ zu beschreiben.

„Safety“ oder Funktionssicherheit steht für den Schutz der Umwelt vor einem System, z. B. durch die Vermeidung von Unfällen. Dabei soll ein durch das System entstandener Schaden verhindert werden und hängt damit von der richtigen Funktion des Systems ab. Es muss sichergestellt werden, dass das System korrekt funktioniert, damit diese Sicherheit gewährleistet ist. Das bedeutet zunächst, dass Fehlfunktionen des Systems verhindert werden müssen. Da bei allen technischen Systemen das Auftreten von Fehlern nicht generell ausgeschlossen werden kann, muss der Betrieb laufend überwacht werden zur Erkennung von sicherheitsrelevanten Fehlern. Darauf aufbauend müssen die erkannten Fehler derart sicher beherrscht werden, dass das System in einen Zustand versetzt werden kann, der als sicher definiert wurde. Ziel der Funktionssicherheit ist es, das Risiko für Unfälle auf ein akzeptables Maß zu reduzieren.

Da die funktionale Sicherheit ein sehr wichtiges Thema für viele Anwendungsbereiche darstellt, gibt es zahlreiche Normen für die unterschiedlichen Bereiche, wie in Tab. 1.1 aufgeführt.

„Security“ oder Informationssicherheit dagegen bezeichnet die Fähigkeit eines Systems, sich und seine Systemressourcen, wie z. B. Daten, im Hinblick auf Integrität und Vertraulichkeit zu schützen. Also der Schutz des Systems vor der Umwelt, z. B. in Form von unberechtigten Zugriffen. Bei der Datensicherheit wird verhindert, dass es unautorisierte Zugriffe auf die gespeicherten Daten gibt, um Datenverlust oder -manipulation zu verhindern.

Der Unterschied zwischen „Safety“ und „Security“ kann einfach am Beispiel der Vernetzung dargestellt werden. Für ein vernetztes System, dessen Steuerung über eine Internetverbindung kontrolliert wird, muss diese Internetverbindung dauerhaft bestehen, sodass der Nutzer jederzeit, schnell und ohne großen Aufwand in das System eingreifen kann. Im Sinne der „Security“ sprich Informationssicherheit wäre diese Verbindung zu Außenwelt im Idealfall gar nicht vorhanden, damit niemand unbefugt auf das System,

Tab. 1.1 Normen zur funktionalen Sicherheit

Norm	Beschreibung
EN ISO 13.849 [7]	Sicherheit von Maschinen – sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
ISO 26.262 [8]	Road vehicles – Functional safety
EN/IEC 61.508 [9]	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme
EN/IEC 61.511 [10]	Funktionale Sicherheit – Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie
EN/IEC 62.061 [11]	Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme

seine Steuerung und Daten zugreifen kann. Damit verfolgen Funktionssicherheit und Informationssicherheit sich widersprechende Ziele, sodass diese bei der Entwicklung gegeneinander abgewägt werden müssen, um beide Ziele realisieren zu können. Im Beispiel des vernetzten Systems: welchen Grad an Informationssicherheit muss ich aufweisen, um die Integrität des Systems zu gewährleisten, und wie kann ich diese realisieren, sodass der Zugriff für autorisierte Nutzer derart möglich ist, dass die volle Funktionalität gegeben ist?

Literatur

1. Vestberg H (2010) Ericsson Press Release April 13, 2010, [http:// http://mb.cision.com/Main/15448/2246220/662223.pdf](http://mb.cision.com/Main/15448/2246220/662223.pdf). Zugegriffen: 15. Mai 2018
2. Evans D (2011) Das Internet der Dinge, https://www.cisco.com/c/dam/global/de_de/assets/executives/pdf/Internet_of_Things_IoT_IBSG_0411FINAL.pdf. Zugegriffen: 13. Juni 2018
3. Kagermann H, Lukas WD, Wahlster W (2011) Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution, VDI-Nachrichten, Ausgabe 13, April 2011
4. DIN IEC 60050-351:2014-09 (2014): Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 351: Leittechnik
5. Ebner HT (2013), Motivation und Handlungsbedarf für Automatisiertes Fahren, DVR-Kolloquium Automatisiertes Fahren, Bonn, 11.12.2013
6. Lindemann U (Hrsg) (2016) Handbuch Produktentwicklung, Carl Hanser Verlag, München
7. EN ISO 13849-1/A1:2013-09
8. ISO 26262-1:2011
9. EN 61508-1:2011-02
10. EN 61511-1:2005-05
11. EN 62061:2013-09

Jeder kennt heutzutage Standard-Hardware wie PCs oder Laptops. Aufgrund ihrer leistungsfähigen Mikroprozessoren wie dem Intel Core i7 oder dem AMD Ryzen 7 Prozessor stellen diese Geräte dem Nutzer eine flexible Hardware und Funktionalität zur Verfügung. Zusammen mit einem mächtigen Betriebssystem (z. B. Windows 10 oder Ubuntu Linux) können die Nutzer dann die benötigten Anwenderprogramme wie Office-Anwendungen, Internet-Browser oder Spiele individuell und flexibel installieren und nutzen. Ein Schlüsselparаметer der Mikroprozessoren ist dabei die Rechenleistung, die die Prozessoren dem System zur Verfügung stellen, um rechenintensive Gaming- oder Multimedia-Anwendungen realisieren zu können. Nichtsdestotrotz stellen diese wohlbekannten Mikroprozessoren nur einen sehr kleinen Teil von Prozessoren und Controllern dar, die in eingebetteten Systemen verwendet werden.

Es gibt zahlreiche Definitionen, was ein eingebettetes System ist, z. B. ist ein eingebettetes System nach Thaller „... ein durch Software kontrollierter Computer oder Mikroprozessor, der Teil eines größeren Systems ist, dessen primäre Funktion nicht rechenorientiert ist.“ [1]. Dabei tritt die Recheneinheit nach außen gar nicht als solche in Erscheinung, sondern nach außen wirkt nur die Funktionalität, die das eingebettete System bereitstellt (Abb. 2.1). Mit anderen Worten, ein eingebettetes System ist ein Computer, der nicht wie ein Computer aussieht. Als solches ist das eingebettete System immer ein fester Bestandteil eines technischen Gesamtsystems, das in der Regel aus Rechenhardware, Software und mechanischen bzw. mechatronischen Komponenten besteht. Das eingebettete System interagiert mit seiner Umgebung mittels Sensoren und Aktoren, führt dabei komplexe Regelungs-, Steuerungs- und Datenverarbeitungsaufgaben aus und stellt so zunächst die regelungstechnische Ebene im Dreischichtenmodell dar (Abb. 1.4). Durch die zunehmende Vernetzung und Steigerung der Rechenleistung der Recheneinheiten von eingebetteten Systemen bilden sie inzwischen auch die Basis von CPS. Ein wesentliches Charakteristikum von eingebetteten Systemen ist dabei ihre

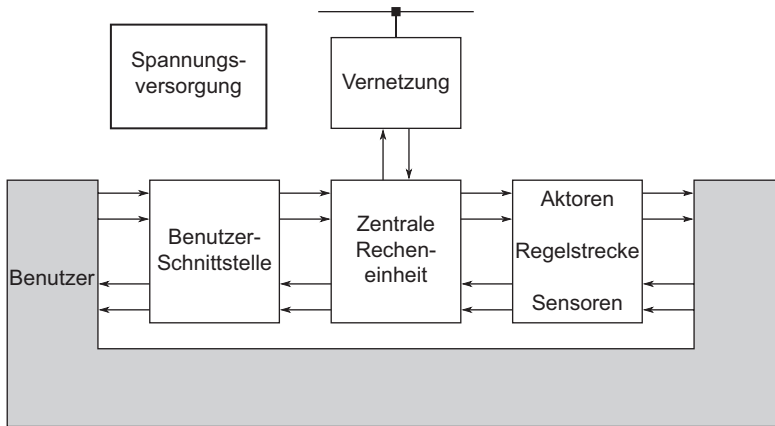


Abb. 2.1 Schematische Darstellung eines eingebetteten Systems

Zweckbestimmtheit, d. h. das System soll dedizierte Funktionen ausführen, wobei die Funktionalität meist in der Software abgebildet wird. Eine weitere zentrale Eigenschaft ist die Programmierbarkeit von eingebetteten Systemen.

Realisiert werden eingebettete Systeme durch sogenannte Steuergeräte (ECU, Electronic Control Unit), die damit die Kontroll- und Steuereinheiten eines mechatronischen Systems darstellen. Dabei können die ECU mit den Sensoren und Aktoren eine Systemeinheit bilden. Wie konkret ein Steuergerät realisiert wird, hängt stark von den Anforderungen, der Anwendung und den Umgebungsbedingungen ab.

Dabei muss das eingebettete System seine Funktionalität unter den gegebenen Randbedingungen und Limitierungen immer und zuverlässig erfüllen. Dies betrifft beispielsweise systemimmanente Anforderungen wie verfügbaren Bauraum, maximale Leistungsaufnahme und Lebensdauer ebenso wie Umgebungsbedingungen und Sicherheitsanforderungen.

Die Umgebungsbedingungen stellen dabei gewissermaßen Störgrößen dar, unter denen das System funktionieren muss:

- Temperatur
- Staub, Feuchtigkeit (gasförmig und flüssig) und Fremdkörper
- Mechanische Belastungen wie Stöße, Vibrationen
- Chemische Substanzen
- Elektrische Störungen (z. B. instabile Spannungsversorgung)
- Elektromagnetische Störungen (EMV, Elektromagnetische Verträglichkeit)