



(Bild: Iconimage – Fotolia)

IO-Link:

Für smarte Sensoren

Der Maschinenbau in Deutschland ist weltweit führend. Um diese Position zu sichern und Deutschland auch weiterhin als Produktionsstandort attraktiv zu gestalten, wurde 2013 die Initiative für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 gestartet – als Leittechnologie ausgelobt. Mit politischer Unterstützung sollen Deutschland und Europa auf die nächste Entwicklungsstufe in der industriellen Automation gesetzt werden. Doch wie sieht es aktuell in den technischen Anlagen aus – ist Industrie 4.0 schon spürbar? Die geführten Diskussionen reichen von Resignation bis Euphorie. Sicherlich ist noch keine ganzheitliche Lösung über alle Ebenen vorhanden und die Umsetzung der Visionen benötigt noch Zeit. Doch wird der aktuelle Status häufig zu negativ beurteilt. Die Industrie hat in vielen Bereichen bereits die Hausaufgaben gemacht. Ein Beispiel soll in diesem Artikel näher beleuchtet werden: smarte Sensoren. Hierunter versteht man Sensoren, die neben der eigentlichen Messaufgabe auch komplexe Signalver-

Smart Sensors werden mit Industrie 4.0 in einem Atemzug genannt. Doch was sind überhaupt smarte Sensoren und warum benötigt man diese? Fragen, die vielfach gestellt werden und auf die es hier eine Antwort gibt. Mit IO-Link steht eigentlich schon seit 2006 eine Technologie zur Verfügung, die alle Voraussetzungen für den Einsatz intelligenter Sensoren schafft.

Von Prof. Dr. Jörg F. Wollert

arbeitung durchführen, parametrierbar und diagnostizierbar sind oder zusätzliche Informationen über sich und die Umwelt bereitstellen können. Diese Sensoren findet man am untersten Ende der Automatisierungspyramide in der Feldebene.

Spricht man über Industrie 4.0, dann sind die Begriffe CPS (Cyber-Physical Systems), IoT (Internet of Things) und „intelligente vernetzte Welten“ nicht weit. Der Begriff des IoT bzw. „Internet der Dinge“ impliziert, dass die Systeme direkt über das Internet verbunden sind. Die technische Realität sieht aufgrund

der technischen und kommerziellen Randbedingungen jedoch anders aus. Mit den steigenden Anforderungen der Fertigungsprozesse in der Produktionsindustrie sind die Echtzeitanforderungen dramatisch gestiegen. Zykluszeiten von Steuerungssystemen im Bereich einstelliger Millisekunden, einigen 100 μ s oder sogar 10 μ s geben die technologischen Randbedingungen vor. Man kann feststellen, dass nur bei einer signifikanten Reduktion der Verarbeitungszeiten die Produktionszahlen steigen oder die Fertigungsgenauigkeit besser wird. Hohe Messraten sind damit

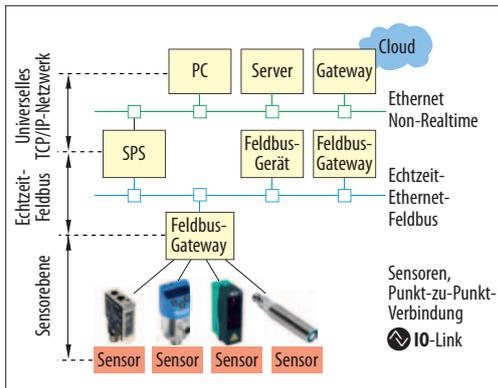


Bild 1. Die Topologie für Automatisierungssysteme ist entschieden: IP-Protokolle eignen sich nur, solange die Echtzeitanforderungen nicht zu streng sind.

Voraussetzung für eine optimierte Produktion. Darüber hinaus werden Sensoren immer komplexer, da im Sinn einer hohen Verfügbarkeit und geringer Anlagenstandzeiten frühzeitig Verschmutzungen oder Verschleißerscheinungen detektiert und präventiv behoben werden sollen.

TCP/IP hat ein Echtzeit-Problem

Würden die Steuerungskomponenten mit konventioneller IP-Technik für die Kommunikation ausgerüstet, dann wären die erforderlichen Performance-Werte mit vertretbarem Aufwand und zu akzeptablen Preisen nicht zu erreichen. All-IP bis in den Sensor kann also nicht das erklärte Ziel sein.

Es zeichnet sich ab, dass man an einer hierarchischen Organisation der Echtzeitwelt nicht umherkommt. Für Kommunikationsanforderungen im Bereich einiger 100 ms ist eine konventionelle TCP/IP-Kommunikation sehr gut geeignet. Uneingeschränkte IT-Kompatibilität stellt umfassende Interoperabilität und eine definierte Sicherheit und Vertraulichkeit her. Dieses ist bis hin in die Steuerung möglich. Für Systeme und Automatisierungsaufgaben mit Zykluszeiten besser als 10 Millisekunden sind speziell abgesetzte Netzwerke notwendig. Unterschiedlichste industrielle Feldbusse – in der Regel Ethernet-basiert – sind hier möglich, jedoch nur mit spezialisierten Protokoll-Stacks, die auf IP-Routing-Eigenschaften verzichten und auf ihren Einsatzfall optimiert sind [1] (Bild 1).

Harte Echtzeitanforderungen sind mit einem TCP/IP Stack mit vertretbarem Aufwand nicht mehr zu erreichen. Fast alle Systemlösungen der verschiedenen Organisationen und Hersteller nutzen

nur für zeitunkritische, asynchrone Dienste TCP/IP-Kommunikation. Bei einer deterministischen Kommunikation mit Reaktionszeiten unterhalb einer Millisekunde sind performantere Protokolle notwendig. Dies widerspricht der Idee einer durchgängigen Kommunikation nicht. Die Hersteller bieten von Haus aus Gateways an, die die Echtzeitwelt mit der TCP/IP-Welt verbinden. Darüber hinaus sind offene Standards wie OPC-UA geeignet, die Daten aus der

Echtzeitwelt für generelle Anwendungen mit geringeren zeitlichen Anforderungen zur Verfügung zu stellen.

Bleibt die Fragestellung nach der Anbindung von „einfachen“ Sensoren wie Lichtschranken, Initiatoren oder anderen Low-End-Systemen. Die Anforderungen an den intelligenten Sensor sind eng verbunden mit den Forderungen an die Smart Factory:

- Durchgängiges Engineering vom Sensor bis zum ERP-System
- Verbesserte Instandhaltung durch prädiktives Handeln
- Automatische Parametrierung von Komponenten nach einem Servicefall
- Plug-and-Play-Funktionalität für Anlagenkomponenten
- Lebenszyklusüberwachung von allen produktionsrelevanten Komponenten

IO-Link als intelligente Sensorschnittstelle

Mit IO-Link existiert eine Schnittstelle, die allen Anforderungen gerecht wird und die in weiten Teilen ausentwickelt ist. Erste Produkte wurden bereits auf der HMI 2006 vorgestellt, als der Begriff „Industrie 4.0“ noch kein Thema war. Ziel war die Entwicklung einer universellen Kommunikationsschnittstelle, die analoge und binäre Signale auf dem letzten Meter überträgt und darüber hinaus in der Lage ist, Geräteparameter mit der darüberliegenden Steue-

rung auszutauschen. IO-Link ist folglich kein Feldbus, sondern eine Ein-/Ausgangsverbindungsleitung für die Bereitstellung von Daten auf einem standardisierten M8- bzw. M12-Stecker – kompatibel zu bestehenden digitalen Sensoren. In IEC 61131-9 werden diese Systeme als „Single-drop digital Communication Interface for small Sensors and Actuators“ (SDCI) beschrieben. Die erste vollständige Spezifikation für IO-Link-Produkte erfolgte 2008 als Version 1.0. Seit 2010 werden neue Produkte nach der Version 1.1 gefertigt, die rückwärtskompatibel ist, aber zusätzliche Features aufweist. Gerade mit den Erweiterungen der Version 1.1 sind die Anforderungen von Industrie 4.0 in vollem Umfang erfüllbar.

Eine wesentliche Eigenschaft von IO-Link ist die parametrierbare Datenschnittstelle, bei der ein intelligenter Master die angeschlossenen Geräte identifizieren kann. In konventionellen Automatisierungssystemen muss entschieden werden, ob es sich um eine analoge oder digitale Schnittstelle handelt, mit welchem Spannungspegel gearbeitet wird und ob es sich um einen Eingang oder einen Ausgang handelt. Demgegenüber ermöglicht ein IO-Link Master eine weitreichende Parametrierung der jeweiligen Ports als Sensor- und Aktorschnittstelle in 24-V-Technik. Generell ist ein IO-Link-Port in der Basisconfiguration immer eine standardkonforme digitale Sensorschnittstelle. Erst im Konfigurationszyklus entscheidet der Master, ob ein konventioneller Sensor in npn-Schaltung oder ein IO-Link Device angeschlossen ist. Handelt es sich um ein IO-Link Device, kann dieses als digitaler Sensor oder Aktor

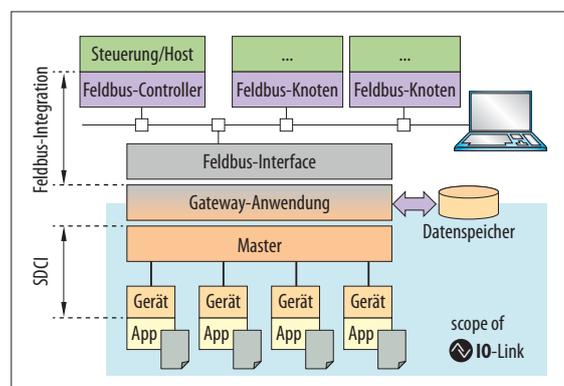


Bild 2. IO-Link gehört zu den Single-drop Digital Communication Interfaces – SDCI. Es ist kein Feldbus, sondern eine Ein-/Ausgangsverbindung, die analoge und digitale Signale von und zu den Sensoren überträgt.

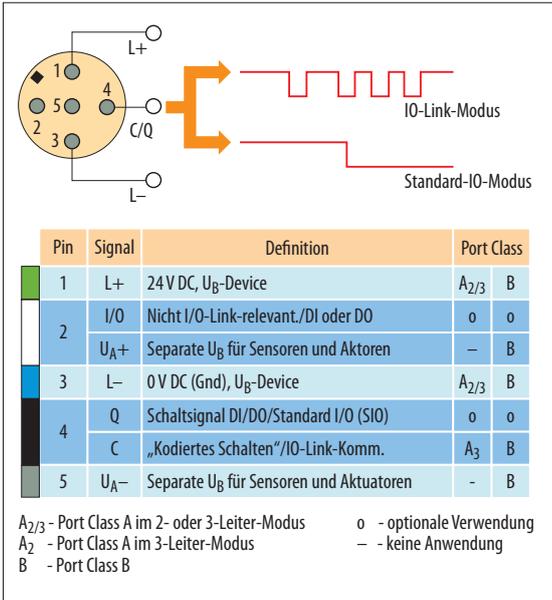


Bild 3. IO-Link kann im digitalen Standard-I/O-Modus oder als digitale serielle Schnittstelle verwendet werden.

oder als Gerät für den Austausch von Analog- oder sonstigen Daten über eine serielle Kommunikation konfiguriert werden. Der Funktionsumfang eines Gerätes wird über die IO-Link Device Description (IODD), ein XML-Dialekt, beschrieben.

Mit IO-Link sind Geräte in der Lage, Informationen über sich, ihren Zustand und Prozessparameter auszutauschen und Parametrierungsinformationen abzuspeichern. Damit wird die Sensor- und Aktorebene validierbar und erfüllt die Anforderungen hinsichtlich Transparenz und intelligenter Datenhaltung von Industrie 4.0. Darüber hinaus kann die Vielzahl der unterschiedlichen Schnittstellentypen dramatisch reduziert werden. Ob P- oder N-schaltend, analog oder digital – für alle Optionen reicht eine einfache Parametrierung aus. Auch Funktionserweiterungen können ohne zusätzliche Hardware-Schnittstellen realisiert werden.

zusätzliche digitale und analoge Schaltfunktionen dürfen durch die IO-Link Devices unterstützt werden, sodass eine kombinierte analoge und digitale Kommunikation möglich wird.

IO-Link-Kommunikation

Die Konfiguration des IO-Link Master erlaubt den Betrieb eines Ports in unterschiedlichen Betriebsarten (Tabelle). Im Standard-I/O-Modus (SIO) werden ausschließlich Schaltinformationen übertragen.

IO-Link-Geräte befinden sich nach einem Einschaltvorgang in einem passiven Zustand. Je nach Konfiguration wird der Port im SIO-Modus wie ein klassischer digitaler Eingang oder im IO-Link-Modus betrieben. Ist kein Gerät angeschlossen, dann wartet der Master auf einen Device Connect. Ist ein bekanntes Gerät angeschlossen, dann wird der entsprechende Betriebsmodus

Deaktiviert	Wird der Port nicht verwendet, dann wird er in der Betriebsart „deaktiviert“ betrieben. Hier ist keine Kommunikation und kein Datenaustausch möglich.
IO-Link COM1 COM2 COM3	In dieser Betriebsart hat der Master ein IO-Link Device identifiziert und setzt den Port auf die serielle IO-Link-Kommunikation. Die Geschwindigkeit hängt vom Kommunikationsmodus des angeschlossenen Gerätes ab. COM1 nutzt 4,8 kbit/s, COM2 38,4 kbit/s und COM3 230,4 kbit/s. Auch die Anzahl der ausgetauschten Bytes kann zwischen 1 und 32 Byte betragen und wird ausschließlich von der spezifischen Implementierung des Device bestimmt. In der Regel werden die Sensoren und Aktoren auf Update-Zeiten <2 ms ausgelegt.
SIO – DI	Der Port verhält sich wie ein Digitaleingang. Dies ist die Standardbetriebsart, mit der konventionelle NPN-schaltende Sensoren eingesetzt werden können. Typische Schaltzeiten von <0,1 ms sind in dieser Betriebsart möglich. Ein IO-Link-Sensor in dieser Betriebsart kann trotzdem während des Anlaufs Informations- oder Parametrierungsdaten mit dem Master austauschen.
SIO – DQ	Diese Betriebsart ist vergleichbar mit dem Digitaleingang, verhält sich aber als Digitalausgang – ebenfalls mit den entsprechenden Diagnosemöglichkeiten.

Betriebsarten der IO-Link-Schnittstelle

**Cortex®-M
zum Selberbauen!**



Designen Sie Ihren eigenen Chip

PSoC® = Programmable System on Chip.

Ihre **digitalen und analogen** Komponenten können Sie jetzt **direkt in den Cortex®-M Baustein integrieren**.

Mit dem **PSoC® Creator** entwickeln Sie so einfach wie auf einem Zeichenbrett Ihre Digital- und Analogschaltungen.

PSoC®4 BLE ist die branchenweit erste **Bluetooth 4.2 kompatible Ein-Chip-Lösung** mit Best-in-Class-Integration. Auch als **zertifiziertes Modul** erhältlich.

Sie möchten PSoC® mal ausprobieren? Dann haben wir hier etwas für Sie:

www.cypress-psoc.de | mcu@glyn.de



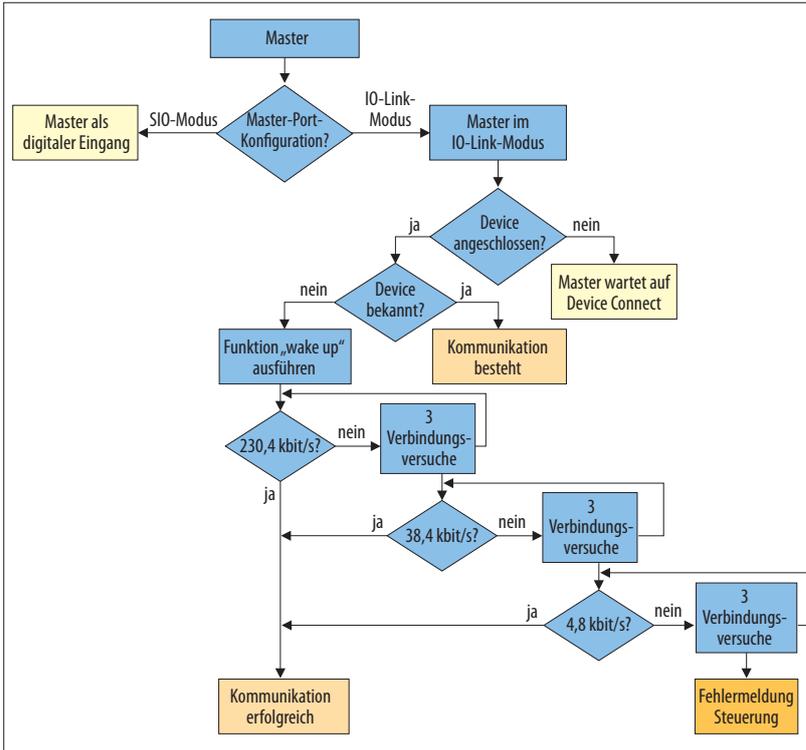


Bild 4. Der Master initiiert den Verbindungsaufbau.

angesprochen. Ist das angeschlossene Gerät unbekannt, initiiert der Master den Geräte-Setup mit einem Wake-up Request auf allen Ports mit unbekannt Devices, um den Status der Geräte abzufragen (Bild 4).

Hierbei wird versucht, mit der schnellst möglichen Geschwindigkeit zu verbinden. Ist dieses auch nach dreimaligem Versuch nicht möglich, wird eine niedrigere Geschwindigkeit gewählt. Kann der Master einen gültigen Kommunikationsteilnehmer finden, tauschen Master und Slave relevante Parameter aus, die den Kommunikationstyp festlegen. Anschließend wird der zyklische oder azyklische Datenaustausch gestartet.

Auf dem seriellen IO-Link werden UART-Worte mit Start-, Stopp- und Parity-Bit versendet. Für die Kommunikation werden drei unterschiedliche Frame-Typen in verschiedenen Varianten als Schreib- und Leseoperation auf unterschiedlichen Datenkanälen angeboten. In einem Command-Byte (CMD) werden die spezifischen Befehle abgesetzt. Das CHK/TYP-Byte beschreibt den Frame Type und die berechnete Prüfsumme.

Ein IO-Link Device muss mindestens den Frame Type 0 verstehen, der Befehle und Daten als „ON-REQ“-Daten nur auf Anfrage versendet. Ein zyklischer

Betrieb von Devices ist nicht zwingend vorgesehen. Der Frame Type 1 ermöglicht das direkte Lesen oder Schreiben von zwei Bytes Prozessdaten (Bild 5). Mit dem Frame Type 2 wird der Austausch von Prozessdaten und ON-Request-Daten in einem Zyklus möglich. Hierbei können in unterschiedlichsten Varianten Prozess- und Statusdaten in beiden Richtungen ausgetauscht werden.

An dieser Stelle kann unmöglich die gesamte Vielfalt der Kommunikation mit IO-Link aufgezeigt werden. Die etwas ausführlichere Darstellung soll nur verdeutlichen, dass mit IO-Link ein Single-Line-Kommunikationssystem geschaffen wurde, das einen sehr breiten und vor allem flexiblen Einsatz ermöglicht und damit alle Anforderungen an eine gut dokumentierte Schnittstelle erfüllt.

Durch die aktuelle Spezifikation von IO-Link in der Version 1.1 sind auch Erweiterungen vorgenommen worden, die im Sinn einer guten Diagnostizierbarkeit hilfreich sind. So werden mit

der Data-Storage-Parametrisierungsfunktion die Parametrisierungsdaten im Sensor und im Automatisierungssystem gehalten. Dies ermöglicht einen konfigurationsfreien Austausch von defekten IO-Link-Geräten. Darüber hinaus ist die Prozessdatenbreite je Port auf bis zu 32 Bytes gestiegen, sodass auch komplexe Sensor- oder Aktorgeräte möglich werden. Schließlich unterstützt IO-Link einen gut dokumentierten Protokoll-Stack, der zyklischen, asynchronen und ereignisgesteuerten Datenaustausch berücksichtigt. Zustandsmaschinen beschreiben den Start- und Betriebsvorgang über die eigentliche Datenübertragung hinaus bis in einen Anwendungs-Layer.

Einsatz von IO-Link

Die Komplexität von IO-Link schreckt für einen einfachen Sensor bzw. Aktor zunächst ab. Doch zeigt sich beim genauen Blick in die Hard- und Software, dass gerade auf der Seite des Gerätes auch kleine 8-bit-Mikrocontroller einen vollständigen IO-Link Stack abarbeiten können und die Vorteile intelligenter Sensoren überwiegen. Moderne Sensorik nutzt ohnehin Mikrocontrollerbasierte Systeme für die Aufbereitung und Optimierung der Prozessdaten. Der Einsatz einer Single-Drop Communication Line (SDCL) für diagnostizierbare Sensoren und Aktoren nach dem IO-Link-Standard ist demnach nur konsequent. Durch die IO-Link Community werden darüber hinaus Profile definiert, die sicherstellen, dass Sensoren und Aktoren tatsächlich austauschbar werden. Das „Smart Sensor Profile“ bietet beispielsweise eine Definition für mes-

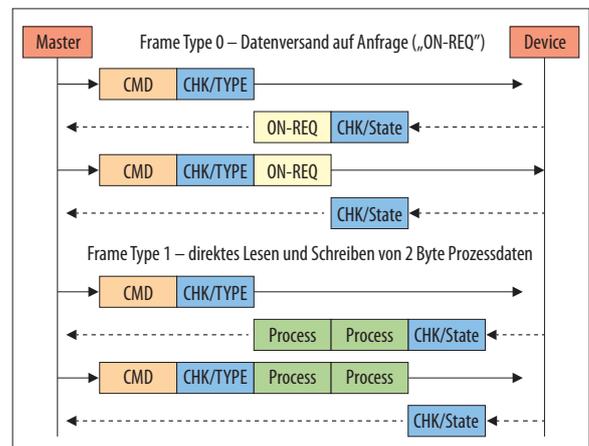


Bild 5. Frame Types 0 und 1 bilden die Basis für den Datenaustausch von IO-Link-Geräten.

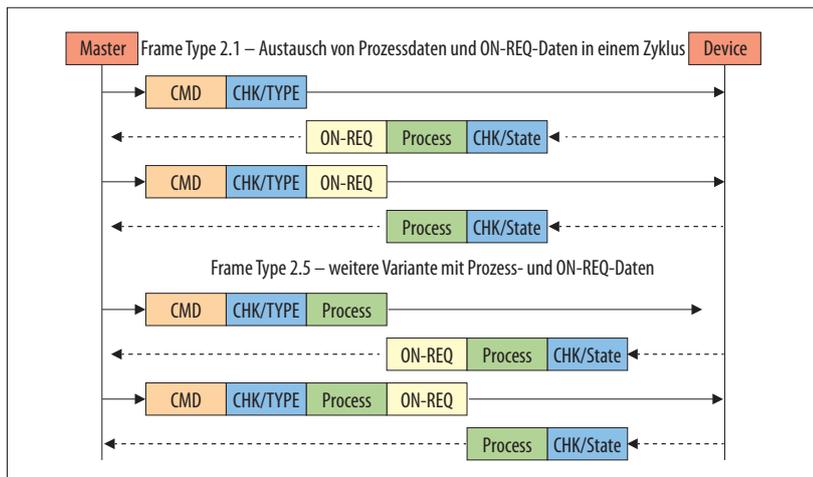


Bild 6. Zahlreiche Varianten des Frame Type 2 bieten Datenübertragungslösungen für unterschiedlichste Aufgaben.

sende Sensoren, bei der neben Schaltpunkten auch die konkreten Messwerte übertragen werden.

Mit der Gerätebeschreibung IODD (IO-Link Device Description) ist eine Gerätebeschreibung auf XML-Basis vorhanden, die von Mensch und Maschine gelesen werden kann und die es ermöglicht, herstellerunabhängig wichtige Informationen über das Gerät in das jeweilige Entwicklungs- und Automatisierungssystem zu übernehmen. Eine Vielzahl unterschiedlicher Informationen, von Gerätebeschreibungen, Logs und Bildern über Gerätedaten bis hin zu Identifikations-, Prozess- und Diagnosedaten sind hierbei in einer standardisierten Form übertragbar.

Ein Standard für Industrie 4.0

Alle reden von Industrie 4.0 und suchen nach herstellerübergreifenden Standards für diverse Anforderungen. Doch in vielen Fällen braucht das Rad nicht neu erfunden zu werden. Das Thema Schnittstellen für diagnostizierbare intelligente Sensoren kann als erledigt angesehen werden. IO-Link bietet eine interessante und vor allem schon bewährte Technologie für den Einsatz von Smart Sensors. Rückwärtskompatibel zu konventionellen digitalen Sensoren bis hin zu einem intelligenten bidirektionalen Datenaustausch werden alle notwendigen Betriebseigenschaften unterstützt. Mit einem durchdachten Anwendungs-Layer, Geräteprofilen und einer menschen- und maschinenlesbaren Gerätebeschreibung (IODD) bleibt auch genug Raum für zukünftige Entwicklungen. Darüber hinaus sind schon heute

von allen führenden Herstellern IO-Link Master verfügbar und auch Sensorhersteller bieten eine breite Palette entsprechender Sensoren. Die Forderung von Industrie 4.0 nach mehr Intelligenz in der Sensorebene zur besseren Kontrolle des Produktions- und Fertigungsprozesses ist damit in weiten Teilen erfüllt. Die Zukunft hat schon begonnen. *jk*

Literatur

[1] Wollert, J.: Echtzeit-Ethernet mit Standard-Technik. *Elektronik embedded* 2014. S. 28 bis 32.
 [2] IO-Link Systembeschreibung – Technologie und Anwendung, IO-Link Firmengemeinschaft in der PNO, Juli 2013.
 [3] IO-Link – Communication Specification V.1.0 January 2009.
 [4] IO-Link Interface ans System Specification V.1.1.2 July 2013
 [5] IODD IO Device Description Specification, V.1.1 August 2011.
 [6] Training IO-Link, ifm 2013.
 [7] Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, acatech, 2013.



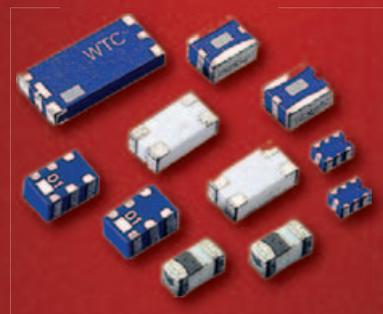
Prof. Dr.-Ing. Jörg Wollert

ist Professor für Mechatronik und Eingebettete Systeme an der Fachhochschule Aachen und als Dozent und Berater in den Themengebieten industrielle Kommunikation, Echtzeitsysteme und Embedded Systems tätig. Seit gut 20 Jahren beschäftigt er sich mit dem Design und der Implementierung verteilter objektorientierter Echtzeitsysteme sowie Gateway-Technologien zwischen kabelgebundenen und funkbasierten Systemen in industriellen Anwendungen.

wollert@fh-aachen.de

RF COMPONENTS FOR: BLUETOOTH, WIFI, LTE, GSM/DCS and GPS

- Chip & Dipole Antenna
- High Frequency Multilayer Band Pass Filter, Balanced Filter, Low and High Pass Filter
- Balun Transformers
- Diplexer and Coupler



Key Features:

- Multilayer LTCC (Low Temperature Cofired) Technology
- Miniature size with low profile
- Low insertion loss
- High attenuation rate
- Various Pin assignment



Vertrieb durch:
Beck Elektronik
Tel.: 09 11 934 08-0
passiv@beck-elektronik.de
www.beck-elektronik.de