

# Einleitung

*Kasperl und Seppel brauchten eine ganze Weile, bis sie instande waren, etwas zu sagen; dann aber fingen beide im gleichen Augenblick zu erzählen an. Sie redeten eine Zeitlang laut aufeinander ein: Kasperl auf Seppel und Seppel auf Kasperl. Jeder erzählte von seinen Erlebnissen, keiner verstand den anderen. Da wurde es Kasperl zu bunt, er hielt Seppel den Mund zu.*

*„Halt, aufhören!“ rief er, „so geht das nicht, es darf immer nur einer reden!“.*

*„Gut“, sagte Seppel, „wir zählen es an den Knöpfen ab – einverstanden?“*

*Nun zählten sie beide, jeder an seinen Rockknöpfen: „Ich – du – ich ...“ Der Zufall wollte es aber, daß jeder von ihnen fünf Knöpfe an seinem Rock hatte. „Ich!“ sagte Seppel beim fünften Knopf, und schon legte er wieder von neuem los. Aber auch Kasperl hatte beim fünften Knopf „ich!“ gesagt, und so kam es, daß wiederum beide gleichzeitig redeten.*

*Otfried Preußler: Der Räuber Hotzenplotz (1962)*

Weil Kasperl und Seppel gleichzeitig sprechen, kommt es zur Kollision. Die Kollision wird bemerkt, und die beiden nutzen zur Kollisionsauflösung einen Zufallsmechanismus, der zumindest nicht sofort zum Erfolg führt. Das klassische Ethernet verwendet ein ähnliches Verfahren, um Kollisionen aufzulösen. Wann eine Nachricht spätestens übertragen wird, kann dabei nicht mit Sicherheit gesagt werden. Dies war ein Grund, weshalb Ethernet lange Zeit für Anwendungen, die Echtzeitverhalten erfordern, nicht in Betracht gezogen wurde. Durch den Einsatz von Switches ist es mittlerweile möglich, ein Ethernet-Netzwerk kollisionsfrei zu betreiben. Damit wurde dem Einwand gegen Ethernet zumindest teilweise die Grundlage entzogen.

**Industrial Ethernet** ist der Oberbegriff für die Bestrebungen, Ethernet zur Vernetzung von Geräten, die in der Automatisierung eingesetzt werden, zu nutzen. Insbesondere dann, wenn ein PC als Steuerung verwendet wird, ist die Nutzung von Ethernet, der Standard-Kommunikationsschnittstelle des PC, interessant. Dabei spielt auch das verbreitete Ethernet-Know-How eine wichtige Rolle. Weitere Vorteile, die für den Einsatz von Ethernet im Bereich der industriellen Kommunikation sprechen, sind:

- **Durchgängigkeit:** Eng mit Ethernet verbunden sind die Internet-Protokolle TCP/IP<sup>1</sup>. Praktisch jeder Ethernet-Knoten ist über die Standardprotokolle TCP/IP erreichbar. Dies schafft eine durchgängige Kommunikation zwischen Bürowelt und Produktion.

---

<sup>1</sup> TCP/IP: Transmission Control Protocol / Internet Protocol

- **Standardanwendungen:** Häufig sind in den Knoten bereits Server für http<sup>2</sup>, telnet<sup>3</sup>, smtp<sup>4</sup>, ftp<sup>5</sup> enthalten. Dies erlaubt den Einsatz von Standardprogrammen für vielfältige Aufgaben (z. B. Visualisierung über Browser, Firmware-Update über ftp, Warnungen/Störungsmeldungen über eMail usw.).
- **Günstige Preise:** Durch die hohen Stückzahlen, in denen Ethernet-Produkte für die Bürowelt produziert werden, werden diese sehr preiswert angeboten.

Insgesamt kann man von einer Verschmelzung von IT-Technologien und Automatisierung sprechen. Im Bürobereich existiert üblicherweise ein Ethernet-LAN<sup>6</sup> zur Vernetzung der Mitarbeiter-PCs. Mit Industrial Ethernet ist es möglich, die Automatisierungsgeräte in dieses LAN einzubeziehen.

Natürlich ist diese Verschmelzung nicht nur mit Vorteilen verbunden. Ein System, welches über Internet zugänglich ist, wird denselben Gefahren ausgesetzt wie ein Bürocomputer. Mit Fragen der IT-Sicherheit war man bei Systemen, die über proprietäre Protokolle kommunizierten, nicht beschäftigt. Man sprach von „*Security by Obscurity*“ und ging davon aus, dass Hacker solche Systeme nicht wahrnehmen.

Im Zusammenhang mit Steuerungsaufgaben wird eine Echtzeitkommunikation gefordert. Eine „weiche Echtzeit“, bei der eine vorgegebene Reaktionszeit im Mittel einzuhalten ist, kann mit Standard Ethernet-Hardware erreicht werden. Ist jedoch eine „harte Echtzeit“ zu garantieren, bei der die Antwortzeit ausnahmslos in einem vorgegebenen Intervall liegen muss, sind im Regelfall optimierte Protokolle und spezielle Ethernet-Hardware erforderlich. Ein Beispiel für eine derartige Anwendung ist die so genannte **Fliegende Säge**: Eine Slave-Achse wird auf eine Master-Achse aufsynchrisiert. Während der synchronen Bewegung von Slave- und Masterachse kann ein Werkstück auch während des Transports bearbeitet werden. Solche Anwendungen fordern eine Synchronisierung der Drehzahlen und eine exakte Abstimmung von Positioniervorgängen verschiedener Antriebe. Die Eingangsdaten der Antriebe (Ist-Position, Ist-Drehzahl,...) werden dabei häufig über ein Bussystem an die Steuerung übertragen. Umgekehrt erhalten die Antriebe ihre Ausgangsdaten (Soll-Position, Soll-Drehzahl) von der Steuerung über das Bussystem.

Mittelweile bieten diverse Hersteller und Organisationen Lösungen für Industrial Ethernet an, z. B. PROFINET (PI<sup>7</sup>), EtherCAT (ETG<sup>8</sup>), EtherNet/IP (ODVA<sup>9</sup>), ETHERNET POWERLINK (EPG<sup>10</sup>), Foundation Fieldbus HSE, JetSync (Jetter), Modbus/TCP-IDA (IDA<sup>11</sup>), SERCOS-III (IGS<sup>12</sup>). Diese unterschiedlichen Ansätze sind nicht zueinander kompatibel.

Die oft zitierte Industrial Ethernet Market Outlook Study der ARC<sup>13</sup> Advisory Group aus

<sup>2</sup> http: Hypertext Transfer Protocol

<sup>3</sup> telnet: Terminal over Network

<sup>4</sup> smtp: Simple Mail Transfer Protocol

<sup>5</sup> ftp: File Transfer Protocol

<sup>6</sup> LAN: Local Area Network

<sup>7</sup> PI: PROFIBUS & PROFINET International

<sup>8</sup> ETG: EtherCAT Technology Group

<sup>9</sup> ODVA : Open DeviceNet Vendor Association

<sup>10</sup> EPG: Ethernet Powerlink Standardization Group

<sup>11</sup> IDA: Interface for Distributed Automation

<sup>12</sup> IGS: Interessengemeinschaft SERCOS Interface

<sup>13</sup> ARC: Automation Research Corporation

dem Jahre 2005 prognostizierte für den weltweiten Markt für Industrial Ethernet bis 2009 ein jährliches Wachstum von 51,4 %, in Deutschland sogar von 59 %. Im Jahre 2004 entfielen 26 % der gelieferten Geräte auf Modbus/TCP und 25,4 % auf Ethernet/IP [ROCK07].

Eine laut QUEST TechnoMarketing für Deutschland repräsentative Umfrage bei 320 Maschinenbauern ergab, dass der Anteil der Maschinen mit Ethernet von 9 % im Jahr 2006 auf 29 % im Jahr 2008 anwachsen soll [QUES08]. Davon entfallen 18 % auf Echtzeit-Ethernet und 11 % auf Standard-Ethernet mit TCP/IP. Von den 18 % Echtzeit-Varianten nehmen ETHERNET POWERLINK, PROFINET und EtherCAT zusammen 16 % ein.

Eine wichtige Branche wird künftig von PROFINET und EtherNet/IP dominiert. Die Automatisierungsinitiative Deutscher Automobilhersteller (AIDA) hat sich für das Thema Industrial Ethernet darauf geeinigt, dass zukünftig PROFINET mit integrierter Personensicherheit eingesetzt wird, wenn das System technische und wirtschaftliche Vorteile bietet [ZVEI05]. Ein Jahr zuvor hatte sich General Motors auf EtherNet/IP für seine Fahrzeugproduktionsstätten festgelegt. D. W. Humphrey von der ARC Advisory Group kommentiert dies folgendermaßen [HUMP05]: „*This effectively divides the western hemisphere into two camps: Profinet in Europe and Ethernet/IP in North America*“.

Auch wenn sich der Markt träger entwickelt als in den ersten euphorischen Schätzungen vorhergesagt, bietet sich ein großes Potenzial für Industrial Ethernet. Langfristig kann man davon ausgehen, dass ein großer Teil der heute installierten klassischen Feldbusse durch Ethernet-basierende Technik ersetzt wird.

## Zielgruppe und Zielsetzung

Dieses Buch soll als Einstieg in die Thematik dienen und einen Überblick über die verschiedenen Lösungsvarianten bieten. Dabei werden PROFINET IO und EtherCAT vertieft betrachtet. Das Buch wendet sich vor allem an Anwender, Anlagenplaner, Entscheider und Entwickler. Als Lehrender der Hochschule Furtwangen, der Industrial Ethernet als wichtiges Thema für die Ausbildung sieht, spreche ich natürlich auch die Zielgruppe der Studierenden im Bereich Automatisierungstechnik an.

Ich halte es für wichtig, dass man sich mit einer komplexen Materie wie Industrial Ethernet auch praktisch auseinandersetzt. Deshalb wird der Leser an vielen Stellen des Buches angeregt, die geschilderten Abläufe selbst nachzuvollziehen und eigene Experimente durchzuführen. Hierfür ist natürlich spezielle Hardware erforderlich. Im Vergleich zur Situation bei den klassischen Feldbussen, bei denen praktische Experimente immer mit relativ hohen Kosten verbunden waren, weil für jeden Feldbus relativ teures Equipment in Form von Master-Anschaltungen, Spezialkabeln, Diagnosewerkzeugen usw. erforderlich war, liegen die Verhältnisse bei Industrial Ethernet deutlich besser. So kann als einheitliches Monitoring-Tool das kostenlose Programm Wireshark genutzt werden, das bei den praktischen Beispielen im Buch eine wichtige Rolle spielt. Zudem kann man die „Master-Anschaltung“ in vielen Fällen über die Ethernet-Schnittstelle des PCs realisieren. Für Feldgeräte ist immer noch Spezialhardware erforderlich. Hier habe ich mich für Geräte entschieden, die auf dem Netzwerk-Controller netX der Firma Hilscher basieren. Das netX Starterboard und der netSTICK können für alle gängigen Varianten von Echtzeit-Ethernet eingesetzt werden. Im Lieferumfang beider Geräte ist die HiTOP-Entwicklungsumgebung

enthalten, mit der eigene Anwendungen erstellt werden können. Damit ist eine preiswerte Möglichkeit geboten, sich mit dem Thema Industrial Ethernet auseinanderzusetzen. Der Preis für den netSTICK liegt unter 100 €.

Bei allen praktischen Beispielen dient der PC als Kommunikationspartner für das Feldgerät. Im Fall von EtherCAT sind die Testmöglichkeiten ideal, da die Firma Beckhoff kostenlos eine auf 30 Tage begrenzte Vollversion der PC-Softwarelösung TwinCAT zur Verfügung stellt. Damit arbeitet man auf Master-Seite mit der Referenz-Implementierung. Bei PROFINET IO ist leider kein vergleichbares kostenloses Werkzeug verfügbar. Ich habe deshalb ein Programm entwickelt, welches in den Beispielen als IO-Controller sowie zur Konfigurierung eines Geräts verwendet werden kann.

Profile der Antriebstechnik sind zwar prinzipiell unabhängig vom Kommunikationssystem. Aufgrund des großen Einflusses, welche die Antriebstechnik in den letzten Jahren auf die Entwicklung der Kommunikationstechnik ausgeübt hat, werden an mehreren Stellen die Antriebs-Profile PROFIdrive und DSP-402 angesprochen.

Auch das Thema Safety wird recht ausführlich diskutiert. Von einem Kommunikationssystem, welches in der Automatisierung eingesetzt wird, erwartet man heute, dass es auch für die Übertragung sicherheitsrelevanter Daten eingesetzt werden kann.

## Aufbau des Buches

Das Buch gliedert sich in sieben Kapitel. In den Kapiteln 3 und 4 wird ein netX-Board als PROFINET IO-Device bzw. als EtherCAT-Slave benutzt. Dabei geht es nicht um die interne Struktur des Feldgeräts, sondern um das, was über das Netzwerk sichtbar ist. Deshalb wird das Board mit einer Software betrieben, die z. B. von SD-Karte gebootet wird.

Die Kapitel 6 und 7 beschäftigen sich mit dem Innenleben eines PROFINET IO-Device und eines EtherCAT-Slave. Hier steht die Software-Architektur dieser Geräte im Vordergrund. Wie bei Industrial Ethernet üblich wird die Anwendung in eine Multitasking-Umgebung mit Echtzeit-Betriebssystem eingebettet. Dies stellt für viele Entwickler, die bislang mit klassischen Feldbussen zu tun hatten, eine große Veränderung dar. Bei vielen Geräten kam man bisher ohne Betriebssystem aus. Die Anwendung wurde einfach zyklisch aus einer Endlosschleife heraus aufgerufen. Ebenso fand die Übernahme der Eingangsdaten und die Übergabe der Ausgangsdaten im Rahmen dieser Endlosschleife statt.

Natürlich setzen verschiedene Hersteller unterschiedliche Echtzeit-Betriebssysteme ein, so dass die praktischen Beispiele der Kapitel 6 und 7 Hilscher-spezifisch ausfallen, weil dort mit dem Betriebssystem rcX der Firma Hilscher gearbeitet wird. Als Protokollstack für PROFINET IO und für EtherCAT kommen Versionen der entsprechenden Produkte von Hilscher zum Einsatz, bei denen die Länge der Ein- und Ausgangsdaten limitiert ist. Die Schnittstelle zwischen Protokollstack und Anwendung ist durch die Mechanismen des verwendeten Betriebssystems geprägt. Die Semantik der Schnittstelle ist jedoch unabhängig vom verwendeten Betriebssystem. Insofern können die Kapitel 6 und 7 als exemplarisch für das allgemeine Zusammenspiel zwischen Protokollstack und Anwendung angesehen werden.

Die einzelnen Kapitel behandeln folgende Themen:

- **1 Grundlagen:** Dieses Kapitel vermittelt die Grundlagen zu Ethernet und einigen Internet-Protokollen
- **2 Industrial Ethernet:** Hier werden die Besonderheiten, die den Einsatz von Ethernet im industriellen Umfeld bestimmen, diskutiert und Standard-Lösungen für bestimmte Anforderungen vorgestellt. Die folgenden Kurzdarstellungen von vier Lösungsvarianten orientieren sich an den zuvor diskutierten Anforderungen.
- **3 PROFINET IO:** Dieses Kapitel vermittelt einen Einstieg in PROFINET IO. Der Ablauf einer Inbetriebnahme wird exemplarisch mit einem netX-Board demonstriert. In diesem Fall repräsentiert das Board ein einfaches IO-Device.
- **4 EtherCAT:** Dieses Kapitel beschreibt die Echtzeit-Ethernet-Lösung der Firma Beckhoff. Die Inbetriebnahme eines EtherCAT-Slaves wird mit TwinCAT demonstriert. TwinCAT wird auch benutzt, um darzustellen, wie die Ein- und Ausgangsdaten eines EtherCAT-Slaves über ein SPS-Programm angesprochen werden. Dieses Zusammenspiel kann analog auf andere Kommunikationssysteme übertragen werden. Der EtherCAT-Slave wird durch ein netX-Board realisiert.
- **5 rcX-Anwendungen:** Als Vorbereitung für die Kapitel 6 und 7 wird mit der Entwicklungsumgebung HiTOP eine Anwendung auf dem netX-Board entwickelt, die über UDP mit dem PC kommuniziert. Die Anwendung setzt direkt auf Ethernet auf und enthält eigene Implementierungen für IP und UDP. Die Konfigurierung von rcX und die rcX-Mechanismen zur Kommunikation zwischen Tasks sind Schwerpunkt dieses Kapitels.
- **6 Ein IO-Device auf netX-Basis:** Hier wird ein PROFINET IO-Device entwickelt, dessen Funktionalität Schritt für Schritt erweitert wird. Zunächst wird eine einfache zyklische Kommunikation realisiert. Danach simuliert das IO-Device Funktionen eines elektrischen Antriebs, der sich gemäß PROFIdrive-Profil verhält. Zu diesem Zweck müssen insbesondere Funktionen zur Verwaltung von PROFIdrive-Parametern und für den azyklischen Zugriff auf PROFIdrive-Parameter realisiert werden. Am Ende des Kapitels wird noch die Erzeugung von Alarmen und Diagnoseeinträgen demonstriert.
- **7 Ein EtherCAT-Slave auf netX-Basis:** Die Funktionalität des EtherCAT-Slaves wird analog zu Kapitel 6 schrittweise erweitert. Hier werden Funktionen eines Antriebs realisiert, der sich entsprechend dem Antriebsprofil DSP-402 verhält, welches auf CANopen basiert. Der Zugriff auf CANopen-Parameter bildet daher auch einen Schwerpunkt des Kapitels. Am Ende des Kapitels geht es um das Absetzen von Emergency Messages, mit denen ein EtherCAT-Slave z. B. Überlastsituationen meldet.

Die Kapitel 5 bis 7 wenden sich an Leser, die sich für die Programmierung von Feldgeräten interessieren. Etwas Erfahrung in der C-Programmierung wird dabei vorausgesetzt.

Je nach Interessenlage und Vorkenntnissen kann das Buch auf verschiedene Arten gelesen werden. Wer nur an PROFINET IO interessiert ist, kann die Kapitel 4 und 7 übergehen. Analog kann der nur an EtherCAT interessierte auf die Kapitel 3 und 6 verzichten. Schließlich kann ein Leser, der sich nur über die Funktionsweise der verschiedenen Varianten, nicht aber für die Implementierung informieren will, ohne die Kapitel 5 bis 7 auskommen.

Das komplette Programmmaterial zum Buch ist auf einer Website bereitgestellt, die in der Druckfassung des Werkes genannt ist.

Für Fragen, Kritik und Anregungen zur Software und zum Buch stehe ich gerne zur Verfügung.

## **Danksagung**

Ich bedanke mich ganz herzlich bei Herrn M. Sc. Ralph Dittmar von der Firma TR-Electronic. Er stand immer für Diskussionen zur Verfügung und hat mich bei der Durchführung vieler Tests unterstützt.

Herrn Dipl.-Ing. Florian Häfele von der EtherCAT Technology Group danke ich für die zügige und kompetente Beantwortung meiner Fragen.

Ich danke der Firma Hilscher für die Unterstützung und die Erlaubnis, Beispiel-Programme und die limitierten Versionen der Protokollstacks zu verwenden.

Meiner Frau Bianca danke ich dafür, dass sie viele Abende und Wochenenden, die ich mit Schreiben verbracht habe, geduldig ertragen hat. Sie hat toleriert, dass ich oft nur physisch anwesend war, weil ich gedanklich vollständig mit dem Buch beschäftigt war. Da sie vor einigen Wochen begonnen hat, selbst ein Buch zu schreiben, kann ich nachfühlen, wie viel Geduld der Partner bisweilen aufbringen muss.

Hochemmingen, September 2008

*Edgar Jäger*  
*jr@hs-furtwangen.de*