

# Funkstandards in Gebäude- und Industrieautomation

Viele Anwender aus dem Bereich der Gebäude- und Industrieautomation hoffen, mithilfe moderner Funk-Technologie zukünftig auf einen großen Teil der Verkabelung für Steuerungs- und Regelungsanlagen verzichten zu können. Zur Auswahl stehen sowohl bereits im Markt etablierte Anwendungen wie beispielsweise WLAN und Bluetooth als auch jüngere Systeme. Von denen zieht zurzeit besonders ZigBee großes Interesse auf sich, weil die verwendeten Produkte kostengünstig und einfach zu installieren sind – und weil sie vor allem einen so geringen Stromverbrauch haben, dass sie über längere Zeiträume hinweg mit Batterien betrieben werden können.

## 1 Argumente für die drahtlose Kommunikation

In zunehmendem Maße ergänzen und ersetzen Funkssysteme herkömmliche drahtgebundene Kommunikationslösungen, deren oft umfangreiche Verkabelungen einige Nachteile mit sich bringen: Bei der Gebäudeautomation sind es die fehlende Flexibilität, beispielsweise bei Änderungen von Raumnutzungen, und die hohen Installationskosten. In der Industrieautomation kommen noch die erhöhten Anforderungen hinzu, denen Kabelsysteme in der rauen Umgebung genügen müssen. Des Weiteren: Anschlüsse für bewegliche Maschinenteile erfordern nicht selten Sonderlösungen, Behinderungen durch „fliegende“ Kabelinstallationen sind immer ein Ärgernis. Vor diesem Hintergrund sind die Beweggründe für den Einsatz von so genannten „Wireless Networks“ nur zu verständlich. Und so hoffen nicht wenige, dank der Wireless-Technologie in Zukunft fast ganz auf Kabel verzichten zu können. Diese Aussicht hat eine stürmische Entwicklung ausgelöst und dazu geführt, dass immer mehr Anbieter von Funksystemen auf den Markt drängen.

Der Anwender jedoch fühlt sich zunehmend überfordert, weil er sich mit einer fast unüberschaubaren Zahl von Standards konfrontiert sieht. Hat er endlich gelernt, Begriffe wie Wireless LAN, Bluetooth, GSM, DECT, GPRS, UMTS und andere richtig einzuordnen, steht schon die nächste Generation von Technologien in den Startlöchern: Jetzt muss er sich mit Ultra Wide Band (UWB), ZigBee, Smart Dust, Nanonet, EnOcean und anderen beschäftigen.

Alle genannten Anwendungen übertragen ihre Daten über bestimmte lizenzfreie ISM-Bänder (ISM: Industrial, Scientific and Medical Band). Diese Bänder sind für Sendegeräte der Industrie, Wissenschaft und Medizin reserviert. Die Entwicklungen für den Einsatz in der Automatisierungstechnik konzentrieren sich auf den weltweit genutzten 2,4-GHz-Bereich, aber auch auf den ebenfalls lizenzfreien 868-MHz-Bereich (Europa) und den 915-MHz-Bereich (USA).

## 2 Wichtige Standards der IEEE-802-Familie

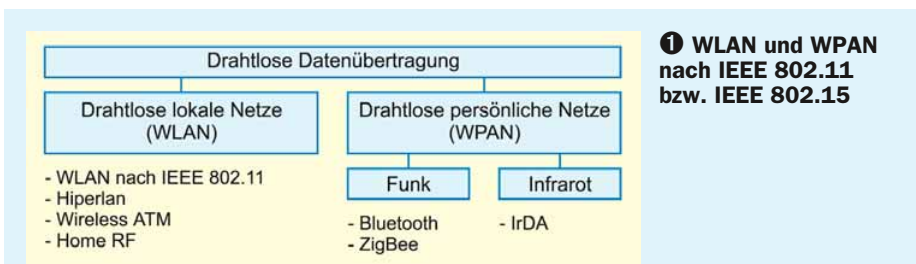
Dieser Beitrag kann nicht alle genannten Entwicklungen aufgreifen und nachzeichnen, sondern wird sich auf die Darstellung von WLAN, Bluetooth und ZigBee beschränken. WLAN und Bluetooth haben sich schon seit geraumer Zeit am Markt durchgesetzt. ZigBee ist

zwar jüngeren Datums, zeigt aber eine Erfolg versprechende Entwicklung – ein Grund also, sich mit ihm zu beschäftigen. Formuliert hat diese Standards das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE, meist „I tripple E“ gesprochen), ein weltweiter Berufsverband von Ingenieuren aus den Bereichen Elektrotechnik und Informatik.

Wichtig für die folgenden Ausführungen sind in erster Linie die Standards IEEE 802.11 und IEEE 802.15 (Bild 1). Der erstgenannte bildet die Grundlage des Wireless Local Area Network (WLAN). Die ursprüngliche Version sah Datenübertragungsraten von 2 Mbit/s bzw. 3 Mbit/s vor. Mittlerweile liegen Fortschreibungen vor, deren Übertragungsraten bis 54 Mbit/s reichen. Tafel 1 zeigt die bisher veröffentlichten Spezifikationen.

Die zweite IEEE-802-Gruppe, die in diesem Beitrag eine Rolle spielt, sind die Standards nach IEEE 802.15. Sie beschreiben das so genannte Wireless Personal Area Network (WPAN) und haben folgende Zielsetzungen:

- Die Regeln nach IEEE 802.15.1 bilden die Grundlage der seit längerem eingeführten Bluetooth-Spezifikation.
- Die Sektion IEEE 802.15.2 beschreibt die



1 WLAN und WPAN nach IEEE 802.11 bzw. IEEE 802.15

Tafel 1 Standards für das WLAN

802.11	Ursprünglicher Standard, 1997 verabschiedet, 2 Mbit/s, 2,4-GHz-Band
802.11a	Erweiterung der physikalischen Schicht, 1999, 54 Mbit/s, 5-GHz-Band
802.11b	Erweiterung der physikalischen Schicht, 1999, 11 Mbit/s, 2,4-GHz-Band
802.11c	MAC-Layer-Bridging gemäß 802.1D
802.11d	Anpassung an die regulatorischen Bestimmungen verschiedener Länder
802.11e	Unterstützung von Quality-of-Service
802.11f	Interoperabilität zwischen Basisstationen
802.11g	Erweiterung der physikalischen Schicht, 54 Mbit/s, 2,4-GHz-Band
802.11h	Reichweitenanpassung, Indoor- und Outdoor-Kanäle, 5-GHz-Band, TPC/DFS
802.11i	Erweiterungen bezüglich Sicherheit und Authentifizierung für a/b/g/h
802.11j	Japanische Variante von 802.11a für den Bereich 4,9 GHz – 5 GHz
802.11k	Stellt Informationen über Funk- und Netzwerkaktivitäten zu Verfügung
802.11m	Zusammenfassung früherer Ergänzungen, Bereinigung von Fehlern aus vorausgegangenen Spezifikationen (Maintenance)
802.11n	Geplante Erweiterung für ein zukünftiges, schnelleres WLAN mit 108 Mbit/s bis 320 Mbit/s
802.11o	Soll die Priorisierung von Sprache im WLAN gegenüber dem Datenverkehr definieren
802.11p	Drahtloser Funkzugriff von Fahrzeugen aus
802.11q	Unterstützt Virtual LANs (VLAN)
802.11r	Spezifiziert das Fast Roaming beim Wechsel zwischen Access Points; interessant im Zusammenhang mit VoIP, um Gesprächsunterbrechungen zu vermeiden
802.11s	Regelt den Aufbau von Wireless Mesh Networks
802.11t	Wireless Performance Prediction (WPP), legt unter anderem Testverfahren fest
802.11u	Behandelt das Zusammenspiel mit anderen nicht 802-konformen Netzen, wie etwa den zellularen Handy-Netzen
802.11v	Wireless-Network-Management



## 2 Funk in der Prozesstechnik

Dieses System bringt die Prozessdaten auf PDAs oder andere mobile Computer und ergänzt bzw. ersetzt die bislang gebräuchlichen Anzeigeterminals. Kommuniziert wird über Standardprotokolle und -übertragungswege wie WLAN oder Bluetooth.

Foto: ecom WEBfactory

mögliche Zusammenarbeit von Wireless Personal Area Networks (802.15) mit Wireless Local Area Networks (802.11).

- IEEE 802.15.3 regelt die Übertragungsraten bei WPANs von 20 Mbit/s oder höher. Ein weiteres Ziel ist, einen geringeren Energieverbrauch zu realisieren. Das Regelwerk befindet sich noch im Anfangsstadium (Stand September 2005).
- Der Standard IEEE 802.15.4 gilt für Lösungen mit geringen Übertragungsraten. Als Anwendungen kommen beispielsweise Fernbedienungen und Sensoren in Frage. Auf diesem Standard baut ZigBee auf.

## 3

### WLAN nach IEEE 802.11

Der älteste Vertreter der spezifizierten Funknetze ist der 1997 verabschiedete Standard IEEE 802.11. Auf ihm basiert das so genannte Wireless Local Area Network (WLAN), das sich vornehmlich im Bereich der Heim- und Büronetze sowie bei der Nutzung von Hot-Spots, also in Anwendungsbereichen mit PC-Architekturen, verbreitet hat. Aber auch der Einsatz im industriellen Umfeld wird in der jüngeren Vergangenheit von vielen Anwendern als eine attraktive Alternative zu verkabelten Lösungen gesehen (Bild 2).

#### 3.1 Reichweite, Übertragungsrate und Anwendung in der Automation

Wegen der relativ hohen Bandbreite und der technologischen Nähe zu Standardanwendun-

gen im Office-Bereich ist der Einsatz von WLAN überall dort von Vorteil, wo Interaktionen mit übergeordneten Leitsystemen gefordert sind. WLANs werden also häufig im Bereich elektronischer Steuerungen und deren Anbindung an höhere Kommunikationsebenen anzutreffen sein.

Die Reichweite des WLAN liegt in Gebäuden normalerweise zwischen 10 und 50 m, im Freien sind bis zu 150 m möglich. Mitunter ist auch von weitaus höheren Entfernungen die Rede. Die tatsächlichen Werte hängen jedoch sehr stark von den baulichen Gegebenheiten ab. Grundsätzlich gilt: Je mehr Wände oder andere Hindernisse die Signale auf dem Weg zum Empfänger durchdringen müssen, desto geringer ihre Reichweite. Ähnliche Einschränkungen gelten für die Übertragungsgeschwindigkeit, denn auch sie ist von vielen Faktoren abhängig. Es kann vorkommen, dass die Bruttodatenrate von nominellen 54 Mbit/s auf reale 5 Mbit/s oder weniger schrumpft.

#### 3.2 Vor- und Nachteile

WLANs sind einfach und schnell zu errichten, auch der geringe Materialaufwand trägt zu einer kostengünstigen Installation bei. Durch kontinuierliche Entwicklungsarbeit erreichen diese drahtlosen Netze immer höhere Geschwindigkeiten und sind bis auf wenige Ausnahmen in der Lage, die nötigen Bandbreiten für alle gängigen Anwendungen zu liefern. Doch trotz des Erfolgs sind zwei maßgebliche Nachteile zu nennen. Erstens ist der Standard IEEE 802.11 schon heute überaus unübersichtlich. Und es wird in Zukunft noch heterogener werden und immer mehr proprietäre Erweiterungen geben. Zweitens ist für WLAN-Systeme gegenwärtig nur mit zusätzlichen Hilfsmitteln ein signifikantes Sicherheitsniveau zu erreichen. Beide Aspekte erschweren den Einsatz von Funknetzen sowohl in herkömmlichen WLAN-Architekturen als auch in der Gebäude- und Industrieautomatisierung. Für den Bereich der Sicherheit zeichnen sich effiziente und zukunftssichere Lösungen ab. Nachdem sich die Wired Equivalent Privacy

#### Wi-Fi Alliance

Die Wi-Fi Alliance ist ein weltweiter Zusammenschluss von mehr als 200 WLAN-Herstellern. Mit ihrem Zertifizierungsprogramm bestätigt sie die Interoperabilität von Geräten, die nach dem IEEE-Standard 802.11b arbeiten. Seit ihrer Gründung im Jahr 1999 hat die Allianz mehr als 1500 Produkte zertifiziert. Sie erarbeitet darüber hinaus eigene Standards, wie beispielsweise die „Wi-Fi Protected Access“-Architektur (WPA). Für Echtzeitübertragungen hat sie „Wi-Fi Multimedia“ (WMM) für Übertragungen mit garantierter Dienstgüte (QoS) spezifiziert.

(WEP) des IEEE-Standards 802.11 als unsicher erwiesen hatte und sich die Verabschiedung des neuen Sicherheitsstandards IEEE 802.11i verzögerte, etablierte die „Wi-Fi Alliance“, ein Zusammenschluss von WLAN-Herstellern (siehe Kasten), zwischenzeitlich eine Verschlüsselungsmethode unter dem Namen WPA (Wi-Fi Protected Access).

#### 4 WPAN mit Bluetooth und ZigBee

Zunächst gilt es zu unterscheiden zwischen einem Personal Area Network (PAN) und einem Local Area Network (LAN). Ein LAN bezeichnet ein lokales Netzwerk, das mehrere Computer und Peripheriegeräte innerhalb eines Gebäudes miteinander verbindet. Ein PAN dagegen beschränkt sich auf den Einsatz innerhalb eines so genannten Personal Operation Space (POS). Die Reichweite umfasst typischerweise nur wenige Meter. In dieser Umgebung kamen bisher vorzugsweise drahtgebundene Geräte wie PCs, Mikrofone, Lautsprecher, Telefone oder Kopfhörer zum Einsatz. Doch mittlerweile wünscht sich eine stetig wachsende Zahl von Anwendern auch drahtlose Komponenten, die die Übertragungsmöglichkeiten moderner Funktechnologie nutzen, beispielsweise für Zwecke der Industrie- oder Gebäudeautomatisierung. Ein unter Verwendung von drahtlosen Komponenten entstandenes Netz wird als Wireless Personal Area Network (WPAN) bezeichnet. Zu den funkbasierten WPAN-Technologien zählen Bluetooth und ZigBee. Während sich Bluetooth neben dem oben beschriebenen WLAN schon weitgehend etablieren konnte, ist ZigBee als Newcomer anzusehen, dem aber glänzende Erfolge prognostiziert werden.

##### 4.1 Bluetooth – WPAN gemäß IEEE 802.15.1

Bluetooth wurde ursprünglich entwickelt, um mit Hilfe der Funktechnik die vielen Kabelver-

bindungen zwischen Geräten abzuschaffen. Es basiert auf dem IEEE-Standard 802.15.1. Für die Entwicklung und Verbreitung ist die Bluetooth Special Interest Group (SIG) zuständig, eine Interessengemeinschaft führender Unternehmen der Telekommunikation, Netzwerkindustrie sowie der Rechner- und Automobiltechnik (siehe Kasten).

##### 4.1.1 Sendeleistung und mögliche Störungen

Die Sendeleistung und die Reichweite von Bluetooth-Geräten sind begrenzt, wobei folgende Klassifizierung gilt:

- **Klasse I:** 100 mW bei einer Reichweite bis circa 100 m. Diese Geräte müssen eine automatische Leistungsregelung haben: Die benötigte Sendeleistung passt sich dem tatsächlichen Bedarf an.
- **Klasse II:** 2,5 mW im Bereich des Büroarbeitsplatzes bis maximal 50 m
- **Klasse III:** 1 mW für Anwendungen im Nahbereich bis etwa 10 m

Die tatsächlich abgestrahlte durchschnittliche Leistung hängt vom Betriebszustand und von der zu übermittelnden Datenmenge ab. Sie liegt deutlich unter den genannten maximalen Sendeleistungen der einzelnen Klassen.

Bei der Nutzung von Bluetooth-Geräten können Störungen auftreten, wenn sie gleichzeitig mit WLAN-Systemen im 2,4-GHz-Band betrieben werden. Als Alternative wäre in solchen Fällen eine Funktechnologie zu wählen, die in einem anderen Frequenzbereich arbeitet, wie ZigBee beispielsweise, das seine Daten auch im 868-MHz-Bereich (Europa) überträgt.

Ein weiterer Hinweis: Durch die Beschränkung auf einen kleinen Senderraum werden ungewünschte Einwirkungen durch andere Funksysteme unwahrscheinlicher. Gleichzeitig lässt sich damit Energie einsparen.

##### 4.1.2 Produkte und Anwendungen

Bluetooth hat mittlerweile seinen Weg aus der Bürokommunikation in das industrielle Umfeld

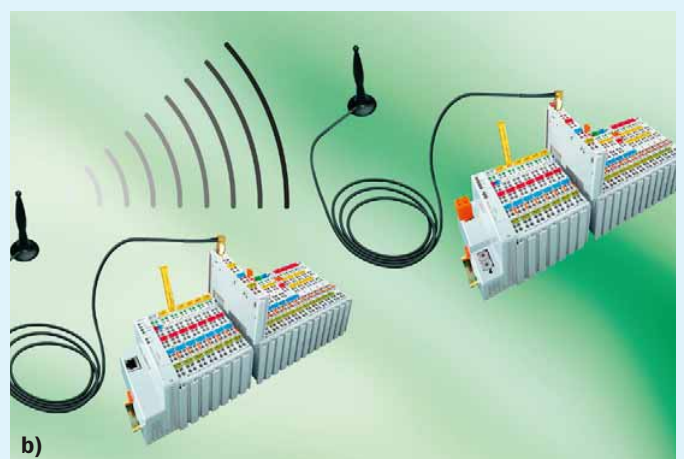
#### Bluetooth Special Interest Group (SIG)

Die Bluetooth Special Interest Group (SIG) ist eine Interessengemeinschaft führender Unternehmen der Telekommunikation, Netzwerkindustrie, Rechner- und Automobiltechnik, die sich die Entwicklung und Verbreitung der Bluetooth-Technologie zum Ziel gesetzt haben. Sie wurde im September 1998 von Ericsson, Agere, IBM, Intel, Microsoft, Motorola, Nokia und Toshiba (den Promotern) gegründet und soll die zahlreichen proprietären Funktechnologien zu einem gemeinsamen Standard zusammenzuführen – so wie der dänische König *Harald Blauzahn* (engl. Bluetooth) im Mittelalter Dänemark und Norwegen vereinte. Heute gehören zur SIG neben den Promotern mehrere Tausend „Associates“ und „Adopter“, zu Deutsch: assoziierte und so genannte erfüllende Mitgliedsunternehmen. Die Arbeit übernehmen neben den „Bluetooth SIG“-Angestellten Freiwillige aus den angeschlossenen Unternehmen. Bluetooth SIG ist Eigentümer des Bluetooth-Warenzeichens und Herausgeber von Bluetooth-Spezifikationen.

mit den dort härteren Umweltauflagen gefunden. Es ist vornehmlich im Bereich von Steuerungen anzutreffen, beispielsweise zur Anbindung von Sensoren oder Ein- und Ausgabebaugruppen (Bild 3). Alle angebundene Geräte erhalten vom Hersteller eine weltweit eindeutige Bluetooth-Adresse, die eine zweifelsfreie Identifizierung garantiert. Ausführliche Produktinformationen sind auf der Bluetooth-Website [www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com) zu finden. Von dort führen Links zu den Websites der Hersteller, die weitere Informationen bereit halten.



**3 Bluetooth in Industrie und Gebäudetechnik**  
a) Bei dieser Wireless-IO-Lösung werden digitale und analoge Signale drahtlos zwischen zwei Klemmleisten übertragen Foto: Phoenix Contact



b) Diese funkbasierten Busklemmen werden wie gewöhnliche serielle Schnittstellen in den Knoten integriert Foto: Wago

Bluetooth-Geräte sind vergleichsweise günstig in der Anschaffung, was insbesondere bei Sensoren eine große Rolle spielt. Insofern werden diese Technologien gerade dort ihre Position ausbauen können. Fachleute prognostizieren sogar, dass sie in der Automatisierungstechnik binnen weniger Jahre zum Standard gehören werden. Das gilt auch oder gerade für die Gebäudetechnik, wo sich raumbezogene Funkstandards kostengünstig in die Gebäudeautomation integrieren lassen. Die technischen Voraussetzungen dafür sind schon heute weitgehend vorhanden. Es ist aber nicht zu erwarten, dass Bluetooth andere Funk-Technologien verdrängen kann, denn das Anforderungsspektrum an drahtlose Techniken ist breit und die Marktentwicklung so vielversprechend, dass auch neue Technologien antreten und ihren Platz einnehmen und behaupten können.

#### 4.1.3 Gesundheitliche Risiken und Sicherheit

Grundlage für die Beurteilung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch hochfrequente elektromagnetische Felder ist die spezifische Absorptionsrate (SAR). Sie beschreibt, wie viel Strahlungsleistung der menschliche Körper aufnimmt. Die maximal zulässige SAR beträgt 0,08 W/kg für den ganzen Körper und 2 W/kg für Teile des Körpers, zum Beispiel für den Kopf. Bluetooth- oder auch WLAN-Geräte bleiben deutlich unterhalb dieser SAR-Grenzwerte und verursachen nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft keine gesundheitlichen Risiken.

Datenübertragungen in PC-Architekturen sowie in Industrie- und Gebäudeautomatationen müssen vor Missbrauch geschützt werden. Den Entwicklern von Bluetooth-Produkten bieten sich mittlerweile zahlreiche Möglichkeiten zur Implementierung von entsprechenden Sicherheitsfunktionen. Es sind drei Sicherheitsmodi für eine Bluetooth-Verbindung zwischen zwei Geräten zu unterscheiden:

- **Sicherheitsmodus 1:** keine Sicherheit
- **Sicherheitsmodus 2:** Sicherheit auf Dienstebene
- **Sicherheitsmodus 3:** Sicherheit auf Verbindungsebene.

Geräte und Dienste haben außerdem unterschiedliche Sicherheitsstufen. Bei den Geräten gibt es die Unterscheidung zwischen einem „sicheren“ und einem „unsicheren Gerät“. Ein „sicheres Gerät“ kann nach erfolgtem Pairing uneingeschränkt auf alle Dienste zugreifen. Bei Diensten wiederum gelten die folgenden drei Sicherheitsstufen.

- Dienste, die eine Autorisierung und Authentifizierung erfordern
- Dienste, die nur eine Authentifizierung erfordern
- Dienste, die für alle Geräte frei zugänglich sind.

### ZigBee Alliance

Die ZigBee-Allianz ist eine Herstellervereinigung und hat sich zum Ziel gesetzt, einen offenen weltweit akzeptierten Standard für zuverlässige und kostengünstige Funksteuerungen zu definieren. Hauptanliegen sind neben Sicherheitsaspekten ein möglichst geringer Leistungsverbrauch, damit Steuerungsanlagen mit Batterien oder Akkus über mehrere Jahre hinweg ohne Batterietausch betrieben werden können.

In der ZigBee-Allianz arbeiten mehr als 150 Mitgliedsfirmen an der Entwicklung und Marktdurchdringung von ZigBee-Spezifikationen. An der Gründung beteiligten sich acht Unternehmen (Promoter), nämlich Ember, Freescale, Honeywell, Invensys, Mitsubishi, Motorola, Philips und Samsung. Alle Allianzmitglieder haben einen kompletten und exklusiven Zugang zu der neuen ZigBee-Spezifikation und werden deren Validierung durch erweiterte Interoperabilitäts- und Skalierungstests sowie künftige Erweiterungen unterstützen.

### 4.2 ZigBee – WPAN gemäß IEEE 802.15.4

Die Aufgabenstellungen der Automatisierungsbranchen sind so vielfältig, dass zu den etablierten Funktechnologien kontinuierlich neue hinzukommen. Der jüngste Vertreter der WPAN-Standards, der IEEE 802.15.4 (ZigBee), ist zugleich derjenige, für den Marktforscher ein explosionsartiges Wachstum in bestimmten Segmenten der Industrie- und Gebäudeautomation vorhersagen: Die Rede ist von einer Absatzsteigerung von sieben Millionen Komponenten im Jahr 2005 auf mehr als 150 Millionen bis 2009, was einer jährlichen Wachstumsrate von über 200 % und Jahresumsätzen von über 5 Milliarden Dollar entsprechen würde. Auslöser sind die niedrigen Anschaffungskosten und vor allem eine extrem niedrige Leistungsaufnahme, die den Einsatz von Batterien ermöglicht (Bild 4).

Auch für ZigBee gibt es eine Interessengruppe, die die Entwicklung fördern soll: die ZigBee Alliance (siehe Kasten). Der eigene Standard, basierend auf IEEE 802.15.4, ist wohl der erste, der zumindest zum Teil die Belange der industriellen Kommunikation berücksichtigt.

#### 4.2.1 Neuer ZigBee-Standard seit Dezember 2004

ZigBee ist ein neuer, Energie sparender Netzwerkstandard, der im Dezember 2004 verabschiedet wurde. Er basiert auf IEEE 802.15.4 und erreicht im 2,4-GHz-Band eine Datenrate von 250 kbit/s. Das sind zwar nur rund 10 bis 25 % der Datenrate bei Bluetooth. Dem steht





4 16-Kanal ZigBee-Transceiver

Foto: Freescale Semiconductor

aber ein deutlich geringerer Energieverbrauch entgegen. Die Reichweite beträgt bis zu 70 m. ZigBee ist ausgelegt für das 868-MHz-Band (Europa) beziehungsweise 928-MHz-Band (USA) sowie für das weltweit verfügbare 2,4-GHz-Band. Der Name ZigBee leitet sich übrigens ab von dem Zickzack-Tanz der Biene, die auf diese Weise ihren Artgenossen den Weg zur nächsten Nahrungsquelle mitteilt. Der ZigBee-Standard unterscheidet sich vom Ansatz und von den Anforderungen her wesentlich von WLAN (nach 802.11) und Bluetooth:

Er ist erstens die bisher einzige Wireless-Spezifikation, die speziell auf die Bedürfnisse der Industrie- und Gebäudeautomatisierung zugeschnitten wurde. Er wird zweitens die Flexibilität bei Bedienung und Funktion von Steuerungs- und Regelungsanlagen erheblich steigern können. Da sich drittens außerdem die in Frage kommenden Produkte durch eine sehr geringe Leistungsaufnahme auszeichnen, kann ein ZigBee-Netzwerk – auch über einen längeren Zeitraum – mit Batterien betrieben werden. Vor allem wegen dieser drei Vorteile hat ZigBee nach Ansicht von Anwendern und Marktbeobachtern das Zeug, zu einem der bedeutendsten Funkstandards heranzuwachsen und teure Kabelnetzwerke weitgehend überflüssig zu machen.

#### 4.2.2 Anwendungen

Grundsätzlich gilt: Alle Applikationen, die Interoperabilität der eingesetzten Produkte und andere Charakteristiken nach IEEE 802.15.4 verlangen, können von ZigBee stark profitieren. Diese Technologie lässt sich besonders kostengünstig in der Gebäude- und Raumautomation sowie in industriellen und medizinischen Anwendungen einsetzen. Als Beispiele wären Licht- und Jalousiesteuerungen, automatische Längenmessungen, Sensorsteuerungen für Maschinen und Anlagen, Heizungssteuerungen, drahtlose Rauch- und CO-Detektoren sowie Meldeanlagen in Eigenheimen zu nennen. Denkbar wäre außerdem die Verwendung als Schnittstelle für intelligente Haushaltsgeräte.

#### 4.2.3 Mögliche Nachteile und Störungen

Die besten Voraussetzungen für das Betreiben eines ZigBee-basierten Netzwerks sind bei Sichtverbindung zwischen den beiden kommunizierenden Geräten gegeben. In der Industrieautomation sind solche günstigen Bedingungen allerdings nicht immer anzutreffen. Hier sorgen reflektierende Metallteile von Maschinen selbst bei freier Sicht oft für problematische Empfangsbedingungen mit Funklöchern. Bei Verlassen des Sichtbereichs bricht die Funkverbindung auch bei kürzeren Entfernungen in den meisten Fällen ganz ab.

Ein weiteres Problem ist der gleichzeitige Betrieb mehrerer unabhängiger Funksysteme im selben Frequenzband und am selben Ort. Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass der Betrieb von Netzwerken gemäß IEEE 802.15.4 in erheblichem Maße unter dem Einfluss von anderen Systemen wie WLAN oder Bluetooth leiden. Die Paketverlustrate kann 95 % und mehr erreichen, sodass ein zuverlässiger Betrieb ohne weitere technische Vorkehrungen nicht mehr zu gewährleisten ist. Zu den wirksamsten Gegenmaßnahmen zählt insbesondere eine dynamische Frequenzanpassung an die jeweiligen Umgebungsbedingungen.

Da sich Funksysteme weiterhin stark verbreiten, kommt es zu einer immer stärkeren Auslastung der verwendeten ISM-Frequenzbänder. Ein solcher Engpass ist zurzeit bereits im 2,4-GHz-Bereich zu beobachten und zukünftig auch in den MHz-Bändern zu befürchten.

Zum Schluss noch ein kurzer Hinweis auf System- und Datensicherheit, die als grundlegende Anforderungen an zeitgemäße Kommunikationssysteme gelten. ZigBee stellt in der „ZigBee security toolbox“ Mechanismen sowohl zur sicheren Verteilung der Schlüssel im Netzwerk als auch zur sicheren Fernadministration des Netzwerks zur Verfügung. Darüber hinaus bieten die oben erwähnten dynamischen Frequenzwechsel relativ hohe Sicherheit gegenüber externen Eingriffen.

#### 5 Fazit

Binnen weniger Jahre wird die Funkkommunikation in der Automatisierungstechnik zum Standard gehören. Die technologischen Voraussetzungen dafür sind schon heute weitgehend gegeben. Aus aktueller Sicht ist zu erwarten, dass kaum eine Technologie die andere verdrängen wird. Das Anforderungsspektrum an drahtlose Techniken ist breit und die Marktentwicklung so vielversprechend, dass auch neue Technologien antreten und ihren Platz einnehmen und behaupten können.