

Funkstandards für Sensornetzwerke

Es gibt kaum noch einen Bereich im Lebensumfeld, der sich funkender Systeme und Geräte entziehen kann. Doch wie sieht es mit dem tatsächlichen Wireless-Einsatz in der Industrielektronik und Automatisierungstechnik aus? Sind hier kabellose Sensornetzwerke tatsächlich Standard? Oder bleiben Funksysteme speziellen Anwendungen vorbehalten? Dieser Artikel gibt einen Einblick in den Stand der Technik und die Anwendungen.

Von Prof. Dr. Jörg Wollert



Historisch betrachtet [1] [2] wird seit den 1980er Jahren an der Entwicklung autarker selbstorganisierender Netzwerke gearbeitet. Vielfach entstammen die Ideen und Szenarien aus der militärischen Forschung, was nicht zuletzt der amerikanischen Forschungslandschaft geschuldet ist, die sich in wesentlichen Teilen aus den Mitteln der DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) finanziert. Ausgehend von den Erfahrungen des Arpanet, dem Vorgänger unseres Internet, war es stets das Ziel, selbstorganisierende und infrastruktur-

freie Netzwerke zu schaffen, die sich dynamisch konfigurieren können.

Frequenzbänder dicht belegt

Durch die fortschreitende Entwicklung in der Mikroelektronik (Prozessorleistung und Speicherdichte), der Software-Technik sowie der Mechatronik zum Ende des 20. Jahrhunderts wurden erstmals miniaturisierte hocheffiziente Sensornetzwerke, sogenannte MEMS (Microelectromechanical Systems), mit integrierter Energieversorgung und Funkkommunikation möglich [3]. Allgemein versteht man unter einem WSN (Wireless Sensor Network) ein drahtloses Netzwerk aus verschiedenen autarken Sensoreinheiten, die physikalische Parameter in einem räumlichen Umfeld erfassen und über ein Gateway zur Verfügung stellen.

In solchen Netzen sind schon von Haus aus die relevanten Anforderungen für ein Automatisierungsnetzwerk erfüllt. Das Netzwerk muss robust sein, eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen, die Daten sind in Echtzeit auszutauschen und schließlich sind die Netzwerke selbstkonfigurierend. Akademisch sind diese Herausforderungen alle zu lösen – jedoch nicht in einem öffentlichem Bereich, unter den einschlägigen regulatorischen Bedingungen der fast 200 Länder auf der Erde und den damit verbundenen technischen Randbedingungen.

Die Zulassung von Funkprodukten ist damit auch ein zentrales Thema bei

Sensornetzen. Da Funk Ländersache ist, darf jedes Land seine eigenen Anforderungen definieren. Glücklicherweise hat die ITU (International Telecommunication Union), eine NGO und Sonderorganisation der Vereinten Nationen, sich dieses Themas angenommen und die Welt in drei unterschiedliche ITU-Gruppen eingeteilt, wobei man sich innerhalb der Gruppen und auch übergreifend um eine Harmonisierung der Frequenznutzung kümmert.

Möchte man weltweit Produkte auf den Markt bringen, so hilft hier nur der Blick auf gemeinsam genutzte Frequenzbereiche (Tabelle). Und die reduzieren sich weitestgehend auf das 2,4-GHz- und das 5,7-GHz-Band. Da das Ausbreitungsverhalten in den niedrigeren Frequenzbereichen freundlicher ist, reduziert sich die Anwendung nahezu auf das 2,4-GHz-Band. Daneben sind unterschiedliche Frequenzbereiche für spezifische Anwendungen in den jeweiligen Ländergruppen vorgesehen.

Die Konzentration auf das 2,4-GHz-ISM-Band schafft auf der einen Seite eine hohe Verbreitung, auf der anderen Seite ist das gegenseitige Beeinflussungspotenzial erheblich (Bild 1). Angefangen bei Bluetooth über WiFi (IEEE 802.11) bis hin zu diversen anderen Funktechniken wie ZigBee, IEEE 802.15.4 und WirelessHART (Kasten „Technologie konkret – WirelessHART“), aber auch proprietäre Funkstrecken für Videoübertragung von Fahrzeugrückfahrkameras und Sicherheitssysteme nutzen dieses Frequenzband.

Frequenzband	Typ *)	Bemerkung, Anwendung
13,56 MHz	B	SRD, RFID in den meisten Ländern
27 MHz	B	SRD in vielen Ländern
40 MHz	B	SRD in vielen Ländern
220 MHz	B	China
315 MHz	B	Div. Länder, nicht in ITU-Region 1 **)
433 MHz	A	SRD in vielen Ländern
868 MHz	B	nur in ITU-Region 1 **)
912 MHz	B	nur in ITU-Region 2 **)
2,4 GHz	B	Weltweit harmonisiert
5,7 GHz	B	Weltweit harmonisiert
24 GHz	B	In vielen Ländern

Tabelle der ISM- und SRD-Frequenzbänder für universelle Anwendungen.

*) Typ A: Anwendungen brauchen Genehmigung der jeweils regionalen Autoritäten. Diese können Einschränkungen z.B. in Bezug auf kooperative Funkprotokolle enthalten. Typ B: Genehmigungsfrei, Anwendungen müssen jedoch mit Störungen jeder Art zurechtkommen.

**) ITU-Region 1: Europa, Afrika, Nachf. UdSSR; ITU-Region 2: Nord- und Südamerika.

Ob eine Beeinflussung der Kommunikation durch unterschiedliche Systeme stattfindet, hängt nicht von der Frequenz, sondern der tatsächlichen Nutzung und dem implementierten Zugriffsverfahren ab. Unter tatsächlicher Nutzung versteht man die zeitabhängige Belegung der Kommunikationsschnittstelle (Bild 2). Das Vorhandensein von überlappenden Kanälen ist unerheblich, solange keine Datenübertragung stattfindet. Erst bei einem aktiven Datenaustausch kann es zu Problemen kommen. Man spricht hier vom Duty Cycle (Zeitanteil, während dessen überhaupt gesendet wird). Ein Duty Cycle von nur wenigen Prozent ist in der Regel unkritisch. Schwierig wird es erst, wenn ein Signal eine große Bandbreite über einen längeren Zeitraum permanent belegt.

Das ETSI (European Telecommunications Standards Institute) hat mit der EN 300 328:2012 zumindest für den europäischen Raum Regeln und Vorschriften herausgegeben, wie freundlich sich Funkssysteme im 2,4-GHz-Bereich verhalten müssen. „Listen Before Talk“- (LBT-) Strategien oder Frequency Hop-

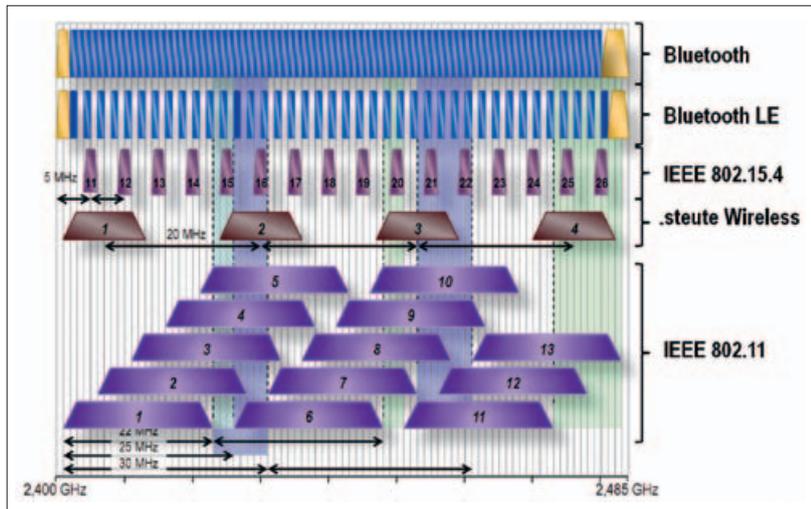


Bild 1. Das 2,4-GHz-ISM-Band ist durch unterschiedlichste Funkstandards belegt, was eventuell Störungen verursachen kann.

ping, also das permanente schnelle Wechseln der Kanalfrequenzen, ist damit für viele Technologien obligatorisch. Auch ist die Nutzung des Mediums (MU, Media Utilisation), als Produkt von normierter Sendeleistung und Duty Cycle genau definiert, so dass in einem weiten Bereich eine sichere Definitionslage vorliegt.

Die richtige Technik für spezielle Anwendungen

Allerdings: In bestimmten Anwendungen – beispielsweise in sehr dicht belegten Funknetzen, in abgeschirmter oder sehr störanfälliger Umgebung – kann Funk die konventionelle Kabeltechnik nicht vollständig ersetzen. Zu

Technologie konkret – WirelessHART

Kabellose Systeme haben gerade in der Prozessindustrie ein großes Potenzial. Deshalb hat sich hier der WirelessHART-Standard IEC 62591 etabliert. Mit mehr als 16.400 Netzwerken mit mehreren 100.000 Knoten und über

immer noch eine deutliche Verbesserung gegenüber keiner Überwachung darstellt. Bild a gibt hierzu eine Auswahlhilfe.

WirelessHART nutzt ein zeitsynchronisiertes Mesh-Protokoll (TSPM), welches ein redundantes Routing von Nachrichten über alle Kommunikationsknoten hinweg zu einem oder mehreren Gateways ermöglicht. Als Basis wird die Funktechnik nach IEEE 802.15.4 im 2,4-GHz-Band mit einem Frequency Hopping auf 15 Kanälen verwendet. Durch die prinzipbedingt redundanten Kommunikationswege und die Möglichkeit, redundante Gateways einzusetzen, kann neben einer hohen Verfügbarkeit auch eine große Robustheit erreicht werden. Die Nutzung des weltweit harmonisier-

Sensoren notwendig, können mehrere Gateways zur Steigerung der Kommunikationsleistung und der Ausfallsicherheit genutzt werden.

Gerade in explosionsgefährdeten Bereichen haben Funkssysteme entscheidende Vorteile gegenüber konventioneller Kabeltechnik (Bild b). Die geringe Sendeleistung von 10 mW hält deutlich Abstand zu der maximal zulässigen Strahlungsleistung gemäß EN 60079-0:2010-03 von bis zu 2 W. Bei einer

	Sicherheitssystem	Regelung	Anlagen Monitoring	Entferntes Monitoring
4–20 mA HART	Weniger effektive Lösung	Mögliche Lösung	Mögliche Lösung	Weniger effektive Lösung
Foundation Fieldbus	Weniger effektive Lösung	Meist gewählte Lösung	Mögliche Lösung	Weniger effektive Lösung
Wireless HART	Weniger effektive Lösung	Mögliche Lösung	Meist gewählte Lösung	Meist gewählte Lösung

■ Weniger effektive Lösung
 ■ Mögliche Lösung
 ■ Meist gewählte Lösung

Bild a. Nicht jeder Anwendungsfall ist für ein WirelessHART-Einsatz gleich gut geeignet.

2,7 Milliarden Betriebsstunden kann nicht mehr von einer Nischentechnologie gesprochen werden [7]. Die Messstellen sind nicht so kostensensitiv wie in der Produktionsautomation, so dass der Installations- und Wartungsvorteil einen deutlich schnelleren ROI ermöglicht. Darüber hinaus setzt gerade die Anlagenüberwachung nicht unbedingt eine 100%ige Verfügbarkeit voraus, so dass ein verspätet, aber rechtzeitig erkannter Fehler

ten 2,4-GHz-ISM-Band ermöglicht einen weltweiten Einsatz der Komponenten. WirelessHART-Systeme suchen unterschiedliche Pfade zu den Gateways. Die Daten werden über die Pfade redundant übertragen. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass auch bei gestörten Einzelverbindungen die Datenpakete zuverlässig zum Empfänger transportiert werden. Ein Gateway kann bis zu 99 Sensoren verwalten. Sind mehr



Bild b. Druckgekapelte Gehäuse und Ex-sichere Batterien ermöglichen den sicheren Betrieb von Funkensensoren selbst im Ex-Bereich IIC. (Foto: Emerson Process)

geeigneten Auslegung der Spannungsversorgung, beispielsweise durch entsprechend gekapselte Batterien, sind eine einfache Installation und ein sicherer Betrieb gewährleistet.

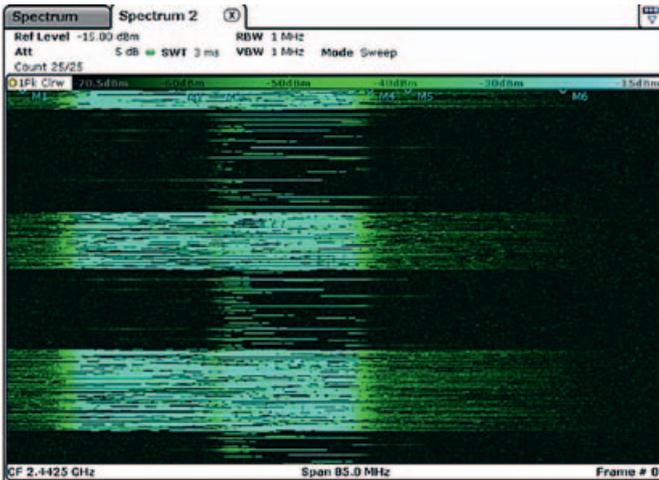


Bild 2. Das Wasserfalldiagramm einer Spektrumanalyse bringt es an den Tag: Entscheidend ist, wie die Luftschnittstelle tatsächlich belegt ist.

hoch sind die Anforderungen hinsichtlich Ausbreitungsverhalten und zu gering auch ist die Bandbreite auf den ISM-Band-Frequenzen, so dass eine verantwortungsvolle Nutzung wohl überlegt sein muss. Ebenfalls kann man feststellen, dass es nicht „die“ Funk-

technik schlechthin gibt. Unterschiedliche Funktechnologien haben spezifische Vor- und Nachteile und nur eine geeignete Systemauswahl führt zu einer zufriedenstellenden Systemlösung – ein Grund, warum Geräteanbieter verschiedene Funktechniken im Angebot haben. Als Beispiel hier verschiedene Funktechniken, wie sie beispielsweise die Firma steute, Marktführer im Bereich kabel-

ra-Low-Power-Architektur ausgelegt und ermöglicht einen energieautarken Betrieb über Energy-Harvesting-Systeme. Elektrodynamische oder piezoelektrische Generatoren sind in der Regel in EnOcean-Systemen zu finden, so dass ein komplexes Energiemanagement durch den Tausch von Batterien nicht notwendig ist. EnOcean-Module sind für unterschiedliche Zielmärkte in unterschiedlichen Frequenzbereichen (Japan: 315 MHz; USA/Kanada: 902 MHz; Europa: 868 MHz) erhältlich. Als vorteilhaft hat sich von Anfang an die hohe Standardisierung herausgestellt, die mittlerweile auch als ISO/IEC 14543-3-10 festgeschrieben ist. Mehr als 1200 unterschiedliche Produkte – vorwiegend in der Gebäudeautomatisierung, aber auch bei industriellen Schaltgeräten – sind gemäß diesem Konzept verfügbar. Aufgrund der guten Standardisierung und der Produktvielfalt kann eine Kompatibilität von Schaltgeräten oder Sensoren unterschiedlicher Hersteller in einem weiten Bereich sichergestellt werden.

EnOcean beherrscht in der Basistechnologie eine unidirektionale Kommunikation. Das Funkmodul sendet in einem dynamischen Raster das Protokoll dreifach, in der Annahme, dass zumindest ein Paket ankommt (Bild 3). Eine bidirektionale Kommunikation ist nicht obligatorisch. Damit ist eine zuverlässige, bestätigte Kommunikation nicht möglich, reicht aber für sehr viele Anwendungsfälle.

sWave 868/915 MHz – bidirektionale Kommunikation

Für eine Vielzahl von Anwendungen ist eine bestätigte Kommunikation oder eine Abfrage des Zustands eines Sensors notwendig. In diesem Fall ist eine bidirektionale Kommunikation zwingend erforderlich. Darüber hinaus zeigt sich, dass die EnOcean-Technologie

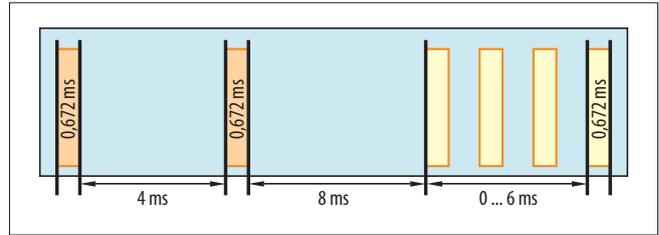


Bild 3. Ein EnOcean-Datenrahmen besteht aus drei gleichen Telegrammen, die in einem festen Zeitraster versendet werden. Durch die schnelle und kurze Mehrfachsendung ist es möglich, dass sehr viele Sender gleichzeitig, auf engstem Raum und derselben Funkfrequenz arbeiten können.

losen Schaltgeräte, im Programm hat.

EnOcean – Kompatibilität und energieautarker Betrieb

Der EnOcean-Standard hat sich über die letzten zehn Jahre zu einer der wichtigsten Wireless-Technologien für Schaltgeräte entwickelt. Er ist konsequent als Ult-

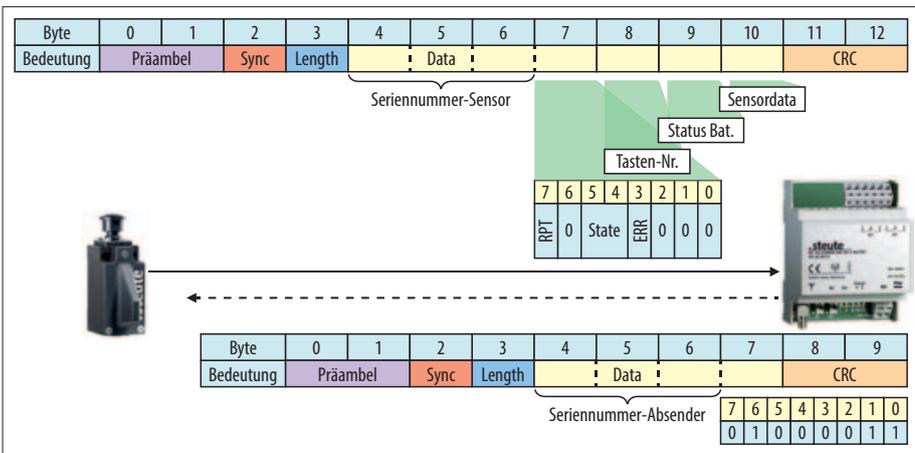


Bild 4. sWave ermöglicht eine bidirektionale Kommunikation von Schaltgerät und Empfänger.

HF-Komponenten & Distribution von IMS Connector Systems

Mobilfunk

Maggeschneiderte Lösungen
MTS
Systemtechnik
www.mts-systemtechnik.de

Mechanik
Präzisionsfrästeile & Gehäuse

Schalten & Verteilen
von HF-Signalen

durch das Dreifach-Senden mit Warte-pausen zwar für ein günstiges Duty-Cycle-Verhältnis sorgt, aber tendenziell eine ungünstige Kommunikation bei vielen, häufiger sendenden Schaltgeräten aufweist. Um hier eine deutliche Verbesserung zu erzielen, bei gleichzeitiger Beibehaltung des sehr guten Low-Power-Verhaltens, wurde bei steute eine eigene Funktechnologie entwickelt: sWave 868 und sWave 915 in den Varianten e und b. sWave (Bild 4) arbeitet im Sub-GHz-Bereich, um das günstige Ausbreitungsverhalten zu nutzen. Um den Anforderungen des weltweiten Einsatzes gerecht zu werden, sind die unterschiedlichen SRD- bzw. ISM-Band-Frequenzen für die ITU-Gruppen 1 und

Schalters (1.000.000 Schaltzyklen) heranzureichen.

sWave 2,4 GHz – weltweit zugelassene Produkte

Durch die unterschiedliche Regulierung des Sub-GHz-Band in den verschiedenen ITU-Gruppen ist für ein weltweit einheitliches Produkt nur das Ausweichen auf das 2,4-GHz-Band möglich. Entsprechend vielfältig sind die verfügbaren Funktechnologien in diesem Frequenzband. Bluetooth, Bluetooth-LE, IEEE 802.15.4 und Zigbee sind nur einige Vertreter. Obwohl offensichtlich sehr viele unterschiedliche Architekturen zur Verfügung stehen, gehen die Hersteller

von Funksystemen häufig den Weg, einen bestehenden MAC-Layer zu modifizieren und ihn für die industriellen Bedürfnisse anzupassen. Das wird bei WirelessHART mit der Norm IEEE 802.15.4 gemacht, steute nutzt in der sWave-2,4-GHz-Technologie ebenfalls ein modifiziertes Standard-MAC.

Durch die Modifikationen können

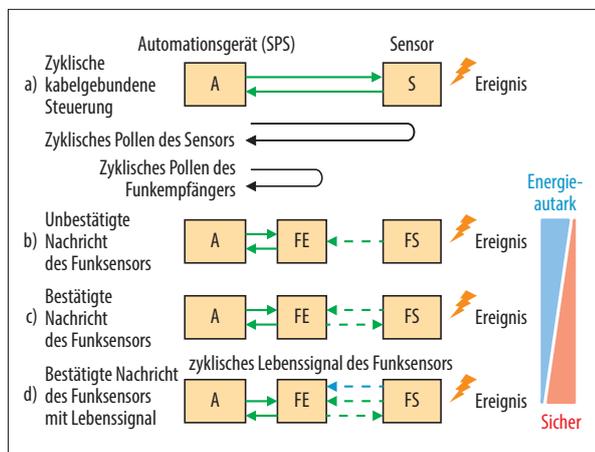


Bild 5. Funk ist anders: Energieautarke Sensoren reagieren in der Regel nur auf Ereignisse. Details zu den einzelnen Fällen siehe Text.

2 definiert worden. Mit den Varianten e und b wird die unterschiedliche Energienutzung beschrieben. Die „e“-Variante ermöglicht einen batteriefreien Betrieb über Energy Harvesting. Die eingesetzten Energiegeneratoren erzeugen so viel Energie, dass nach einem Schaltvorgang die bidirektionale Kommunikation und ggf. auch eine Sendewiederholung erfolgen kann. Selbstverständlich kann der Status ohne Betätigung des Schaltgeräts nicht ausgelesen werden. Immer mehr finden sich Anwendungen, bei denen nicht genug Schaltenergie aus dem Prozess gewonnen werden kann oder andere Detektionsarten verwendet werden müssen. Zu denken ist hier an optische oder induktive Sensoren. Für diese Anwendungsfälle ist die Variante b vorgesehen. Durch die Integration einer kleinen CR2032-Batterie können bis zu 800.000 Schaltsignale übertragen werden, die damit nahe an die Lebensdauer eines

nen schnellere Antwortzeiten, bessere Erstverbindungszeiten, aber auch günstigeres Low-Power-Verhalten erreicht werden. Gerade für zeitsensitive Anwendungen bis hin zu Sicherheitsfunkstrecken können so die im Industriebereich notwendigen Szenarien abgedeckt werden.

So ist am Markt eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte und Systeme verfügbar, die nahezu alle Anwendungsfälle abdecken – eine Technologie-Abwägung in Abhängigkeit von der Anwendung ist also in jedem Fall nötig. Selbst bauliche Gegebenheiten spielen eine Rolle (**Kasten** „Funk in Gebäuden“). Insbesondere in der Prozessindustrie ist mit WirelessHART ein Standard geschaffen, der nicht nur Problemlöser, sondern Standardtechnologie ist. Sensornetze in der Fertigungs- und Produktionsautomatisierung sind eher die Ausnahme. Das liegt auf der einen Seite an der Kostensituation der Komponenten,

locate, communicate, accelerate



SARA-U2:
Kleinste
UMTS/HSPA-Module
mit Fallback auf 2G

Die 3G-Module der Serie „SARA-U2“ sind mit Datenraten bis 7,2 Mb/s und Abmessungen von nur 16x26x3 mm (Gehäuse LGA-96) ideal geeignet für Anwendungen in den Bereichen M2M, Fahrzeug und Consumer.

Funk in Gebäuden

Funk wirkt mystisch – ist es aber nicht. Alleine die Betrachtung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten zeigt sehr deutlich die Chancen und Grenzen eines Funksystems auf. Bei einer einfachen Antenne – einem isotropen Kugelstrahler – wird die Sendeleistung auf einer Kugeloberfläche abgestrahlt. Da die Strahlungsdichte verantwortlich für die Signalgüte ist, gibt es eine quadratische Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger. Ein zweiter wichtiger Effekt ist die quadratische Abhängigkeit von der Frequenz. So hat bei identischer Sendeleistung und Empfängerempfindlichkeit ein 868-MHz-System im Vergleich zu einem 2,4-GHz-System eine fast 10-fache Reichweite.

Ein weiterer relevanter Effekt ist die frequenzabhängige Dämpfung von Baustoffen. Da die

Freifeldämpfung nur das Verhalten bei einer Sichtverbindung beschreibt, ist im schlimmsten Fall auch die Funkdurchlässigkeit von Materialien zu berücksichtigen. Hier zeigt sich eine materialabhängige, hohe Dämpfung bei hohen Frequenzen. Das kann nützlich oder hinderlich sein. Funksysteme mit hohen Frequenzen können gut innerhalb eines Gebäudes verborgen werden. Große Reichweiten über Mauern hinweg können dagegen nur mit niedrigen Frequenzen erreicht werden. Interessant in diesem Zusammenhang: Stahlbeton mit Armierung ist funkdurchlässiger als Kalksandstein – aber nur für niedrige Frequenzen. Das BSI hat hierzu eine Studie bereitgestellt [4], welche die Absorptionseigenschaften verschiedener Maueraufbauten sehr detailliert darstellt.

auf der anderen Seite an den technologischen Anforderungen.

Polling versus Event

Der Einsatz von Funksensoren sollte eigentlich ganz einfach sein. Kabelgebundener Sensor raus, Funksensor rein – und fertig ist die Systemlösung. Ganz so einfach ist das leider nicht. Funk macht häufig nur dann Sinn, wenn auch die Energieversorgung geklärt ist. Ein Funksensor, bei dem einmal im Monat die Batterie getauscht werden muss, ist in der Regel unbrauchbar. Low-Power-Architekturen und Energiemanagement spielen dann auch eine große Rolle bei Funksensoren.

Darüber hinaus ist es der Automatisierungstechniker gewohnt, dass eine

Steuerung zyklisch arbeitet. Ist ein analoger oder digitaler Sensor angeschlossen, können die anliegenden Sensordaten mit dem Zyklus der Steuerung abgetastet werden (Bild 5, Fall a). In Funksystemen ist das anders. Bei einem digitalen Sensor macht es aus der Sicht des Energieverbrauchs nur dann Sinn, Daten zu übertragen, wenn tatsächlich eine Statusänderung vorliegt. Ist das Signal unkritisch, wie z.B. bei einem Seilzugschalter für Türöffnungsfunktionen, kann der Sensor mit einem Energiegenerator versehen werden, so dass ein vollständig energieautarker Betrieb möglich wird (Bild 5, Fall b). In der Praxis findet man vielfach Lösungen auf der Basis von EnOcean-Technologie, um diesen Anwendungsfall abzudecken. Ist eine größere Zuverlässigkeit gefordert, dann wird eine bestätigte Kommunikation notwendig. Die Firma steute realisiert das beispielsweise in ihren Funkschaltern mit ihrer eigenen sWave-Technologie im 868- bzw. 915-MHz-SRD-Band. Die Sensoren können über kleine Pufferbatterien oder Energiegeneratoren genug Energie aufnehmen, um das Ereignis mehrfach bestätigt zu senden (Bild 5, Fall c). Der Vorteil liegt auf der Hand – der Sensor bemüht sich, dem Funkempfänger (FE) zuverlässig die Schaltzustände zu übermitteln. Ist es für den Prozess von Bedeutung, dass die Funkschalter permanent auf ihre Betriebsbereitschaft hin kontrolliert werden, so kommt man an einem Lebenssignal nicht vorbei (Bild 5, Fall d). Funksensoren (FS) und Funkempfänger (FE) tauschen in einem lokalen Zyklus

Statusinformationen aus, wobei auch hier aus Energiegründen der Sensor die aktive Rolle hat. Geräte dieser Kategorie sind nur noch mit Batterien sinnvoll zu betreiben. Ein Beispiel in Bild 6.

Funksysteme können also echte Problemlöser sein – oder Innovationstreiber, die zu Lösungen führen, die sonst unmöglich wären. Gerade im Bereich der kabellosen Schaltgeräte sind heute Systeme für unterschiedliche Anwendungsbereiche verfügbar. Hier ist der Anwender gefordert, seine Bedürfnisse möglichst exakt zu definieren, um ein geeignetes Funksystem zu finden. Aber da es viele unterschiedliche Angebote gibt, wird der Anwender auch eine geeignete Lösung finden. *ha*

Literatur

- [1] Proceedings of the Distributed Sensor Nets Workshop. Pittsburg, PA: Dept. Comput. Sci., Carnegie Mellon Univ., 1978.
- [2] Wesson, R. B.; Hayes-Roth, F. A.; Burge, J. W.; Stasz, C.; Sunshine, C. A.: Network structures for distributed situation assessment. IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. SMC-11, pp. 5–23, Jan./Feb. 1981.
- [3] Gardner, W.; Varadan, V.K.; Awadelkarim, O.O.: Microsensors, MEMS and Smart Devices. New York: Wiley, 2001.
- [4] BSI TR-03209-2 Elektromagnetische Schirmung von Gebäuden – praktische Messungen V. 1.3, BSI 30.4.2008
- [5] EN 300328:2012-04 Electromagnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM). ETSI 2012
- [6] IEC 62591 WirelessHART System Engineering Handbuch. V2.2: Emerson Process Management
- [7] Küper, R.: WirelessHART is now the future. Emerson Process Management 2014
- [8] Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik. VDI/VDE Gesellschaft Automatisierungstechnik, September 2007
- [9] Funklösungen in der Automation – Überblick und Entscheidungshilfen: ZVEI 1. Auflage 03.2011



Prof. Dr. Jörg Wollert

ist Professor für Automatisierungstechnik an der Fachhochschule Bielefeld und als Dozent und Berater in den Themengebieten industrielle Kommunikation und eingebettete Systeme tätig. Seit mehr als 15 Jahren beschäftigt er sich mit industriellem Funk in technischen Anwendungen sowie mit Gateway-Technologien zwischen kabelgebundenen und kabellosen Systemen.



Bild 6. Mit gut 800.000 Schaltzyklen mit einer CR2032-Batterie werden auch industrielle Anforderungen an Schaltgeräte erfüllt. (Bild: steute)