ZVEI
Automation

Koexistenz von Funksystemen in der Automatisierungstechnik

Erläuterungen zum zuverlässigen Parallelbetrieb von Funklösungen

IMPRESSUM

Koexistenz von Funksystemen in der Automatisierungstechnik

Erläuterungen zum zuverlässigen Parallelbetrieb von Funklösungen

Herausgegeben vom:
ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.
Fachverband Automation
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Internet: www.zvei.org/automation

Ansprechpartner:
Carolin Theobald
Fon: 069 6302-429
Fax: 069 6302-319
Mail: theobald@zvei.org

Diese Broschüre wurde vom Arbeitskreis „Wireless in Automation“
im ZVEI-Fachverband Automation erstellt. Es wirkten mit:

Holger Bentje	Günther Quednau
Dr. Sven Cichos	Dr. Andreas Rampe
Michael Echterhoff	Dr. Lutz Rauchhaupt
Wolfgang Feucht	Uwe Schaefer
Jens Grebner	Dr. Guntram Scheible
Dr. Reinhard Hüppe	Sven Sieber
Jochen Koch	Rolf-Dieter Sommer
Marko Krätzig	Carolin Theobald
Hermann Krause	Dr. Werner Thoren
Ralf Medow	Dr. Andreas Vedral
Gernot de Mür	Thorsten Verse
Andreas Pape	Jens Wienecke

Design:
NEEDCOM GmbH
www.needcom.de

Druck:
Berthold Druck und Direktwerbung GmbH
www.berthold-gmbh.de

1. Auflage, November 2008

Trotz größtmöglicher Sorgfalt keine Haftung für den Inhalt.

Alle Rechte, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des ZVEI reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder öffentlich zugänglich gemacht werden.

© ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.

Inhalt

Kurzfassung 5

Motivation 5

1 Funksysteme in der Automatisierungstechnik 6

1.1 Verfügbare Frequenzbereiche 6

1.2 Das 2,4 GHz ISM-Band 8

1.3 Unterscheidungsmerkmale von Funksystemen 8

2 Verhalten von Funksystemen im Parallelbetrieb 10

3 Der Weg zur Koexistenz 12

3.1 Räumliche Entkopplung 12

3.2 Entkopplung im Frequenzbereich 13

3.3 Zeitliche Entkopplung 13

3.4 Zusammenfassung Koexistenzmanagement 15

4 Ausblick 15

Typische Funktechnologien in der Automatisierungstechnik im 2,4 GHz ISM-Band 16

FAQ – Frequently Asked Questions 18

Literatur 19

Hintergrund

Nachstehende Firmen haben unter dem Dach des ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. gemeinsam das Thema Koexistenz von Funklösungen in industriellen Anwendungen untersucht. In hunderten von praxisnahen Testfällen wurden Messungen am ifak - Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg mit verfügbaren Automatisierungskomponenten durchgeführt. Mit diesen Messungen wurden Grundlagen für die Beurteilung von Funkbeeinflussung und die Sicherstellung von Koexistenz parallel betriebener Funksysteme praxisgerecht erarbeitet.

Kurzfassung

Mehrere Anbieter von Automatisierungslösungen haben begonnen, Automationsprodukte mit Funktechnologien auf den Markt zu bringen. Um die Koexistenz, also einen zuverlässigen Parallelbetrieb von Funksystemen, sicherzustellen, wurde von nebenstehenden Herstellern gemeinsam das Thema der gegenseitigen Funkbeeinflussung untersucht. Umfangreiche Messungen unter praxisnahen Bedingungen haben gezeigt: Funk funktioniert!

Zusammenfassend können folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Aufgrund der bei Automatisierungsanwendungen üblichen kleinen Datenmengen ist mit einer deutlich niedrigeren Funkbeeinflussung zu rechnen als gemeinhin erwartet wird.
- Es müssen allerdings industrielle Komponenten eingesetzt werden, die sich deutlich von Consumer- und Bürogeräten unterscheiden, um die benötigte Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu erreichen.
- Koexistenz ist möglich, muss aber geplant werden. Sie ist immer anwendungsabhängig und kann sich im Lebenszyklus einer Anlage prinzipiell ändern, z. B. durch Hinzubringen weiterer Funksysteme.
- Der Planungsaufwand steigt mit der Anzahl an parallel betriebenen Funksystemen. Parallel heißt hier: Am gleichen Ort und auf der gleichen Frequenz und zur gleichen Zeit.
- In schwierigen Fällen muss ein Koexistenzmanagement mit Hilfe eines Fachmanns durchgeführt werden, z. B. wenn mehrere echtzeitkritische, aber unterschiedliche Systeme mit geringer Funkstörfestigkeit parallel eingesetzt werden sollen.
- Wichtig ist, dass überlegt mit der knappen Ressource Funk umgegangen wird und frühzeitig zwischen den unterschiedlichen Bereichen, die Funk einsetzen, ein Interessenausgleich und eine Priorisierung herbeigeführt werden. Dies betrifft insbesondere IT-Abteilungen, die Logistik und die hier im Mittelpunkt stehenden Automatisierer.

Motivation

Funksysteme, wie WLAN oder Bluetooth, werden im Heim- und Bürobereich seit Jahren eingesetzt. Auch in der Automatisierung, z. B. von Anlagen und Maschinen, halten sie vermehrt Einzug. Die Anforderungen sind hier jedoch oft um ein Vielfaches höher. So werden, je nach Applikation, z. B. definierte Reaktionszeiten bei sehr hoher Verfügbarkeit benötigt.

Festgestellt werden kann dabei ein Trend zur Nutzung des 2,4 GHz Frequenzbandes, da dieses lizenzfrei und weltweit verfügbar ist. Zudem bietet es eine hohe Bandbreite, genügend Reichweite und wird von den typischen industriellen Störquellen nicht beeinflusst.

Aufgrund der starken Nutzung dieses Frequenzbandes kann allerdings eine gegenseitige Beeinflussung parallel betriebener Funksysteme nicht von vorneherein ausgeschlossen werden. Diese Funkbeeinflussung kann gegebenenfalls zur Beeinträchtigung der benötigten Verfügbarkeit einzelner Systeme führen, weshalb ein überlegter Umgang mit der Ressource Funk empfehlenswert ist.

In dieser Broschüre werden wichtige Unterscheidungsmerkmale von Funksystemen, ihr Verhalten im Parallelbetrieb sowie Maßnahmen zum Koexistenzmanagement erläutert. Dadurch soll dem Anwender bewusst gemacht werden, warum und wie er sich mit dem Thema der Koexistenz von Funksystemen auseinander setzen sollte. Vor allem aber wird gezeigt, wie einfach sich gegenseitige Funkbeeinflussung vermeiden und ein störungsfreier Parallelbetrieb realisieren lässt.

1 Funksysteme in der Automatisierungstechnik

Die Vorteile von funkbasierten gegenüber kabelgebundenen Systemen sind neben Einsparung von Kabeln und Steckern die erhöhte Mobilität und Flexibilität sowie die Verschleißfreiheit des Übertragungsmediums. Diese Vorteile kommen in den Bereichen der Mensch-Maschine-Kommunikation und der drahtlosen Sensoren und Aktoren an beweglichen Anlagenteilen besonders zum Tragen. So lassen sich verschiedene Aufgaben durch eine drahtlose Vernetzung von Datenerfassungsterminals oder Flurförderzeugen wesentlich effizienter bewältigen.

Jede dieser Anwendungen hat natürlich andere Anforderungen. Da aber kein Funksystem alle Anforderungen gleichzeitig erfüllen kann, müssen für verschiedene Aufgaben gegebenenfalls mehrere Systeme parallel betrieben werden.

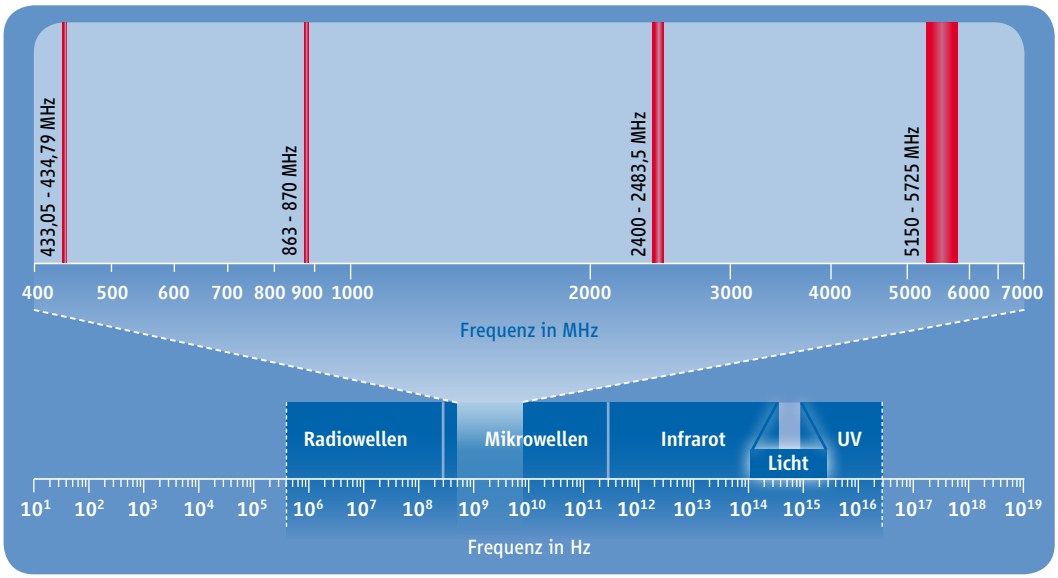
Für die Funkübertragung wird von allen drahtlosen Systemen das gleiche Medium genutzt: der freie Raum in deren Umgebung. Dieses Medium ist eine begrenzte Ressource, da nicht alle Frequenzen am gleichen Ort und zur gleichen Zeit genutzt werden können. Ein koordinierter Umgang mit dieser Ressource ist deshalb erforderlich. Die Verantwortlichen für die IT-Infrastruktur, die Logistik und die automatisierte Fertigung müssen daher beim Aufbau von Funklösungen eng zusammenarbeiten. Demzufolge ist es sinnvoll, sich einen Überblick über die verschiedenen Frequenzbereiche, Funksysteme und deren Merkmale zu verschaffen.

Weitergehende Informationen zum Funkeinsatz in der Automatisierungstechnik können auch der VDI Richtlinie 2185 [1] entnommen werden.

1.1 Verfügbare Frequenzbereiche

Internationale und nationale Regulierungsstellen bestimmen über die Nutzung des begrenzten Frequenzspektrums, das für die Funkübertragung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen genutzt werden darf (siehe Abbildung 1). Sie erstellen einen Frequenznutzungsplan, in dem die lizenzfrei und lizenzpflichtig nutzbaren Frequenzen festgeschrieben sind. Im Bereich der Automatisierungstechnik kommen überwiegend einige wenige Frequenzbereiche zum Einsatz, die hier kurz vorgestellt werden sollen (siehe auch Tabelle 1).

Abbildung 1: Lizenzfrei nutzbare Frequenzbänder im elektromagnetischen Spektrum



Lizenzfreie ISM-Bänder

Von den Regulierungsstellen (in Deutschland ist dies die Bundesnetzagentur) sind für Funkanwendungen sogenannte ISM-Bänder (engl.: industrial, scientific and medical) freigegeben worden. Der wesentliche Vorteil der ISM-Bänder gegenüber anderen Frequenzbändern liegt darin, dass Geräte, welche diese Bänder nutzen, ohne weitere Einschränkungen eingesetzt werden können, wenn sie den jeweiligen gesetzlichen Bestimmungen genügen. Der Nachteil liegt auf der Hand: durch die Lizenzfreiheit werden diese Frequenzen häufig genutzt, wodurch es bei parallel betriebenen Funksystemen zu einer gegenseitigen Beeinflussung kommen kann. Typische freigegebene ISM-Frequenzen liegen bei 433 MHz, 2,4 GHz und 5 GHz. Diese werden für räumlich begrenzte Netzwerke, wie z. B. WLAN, ZigBee oder Bluetooth, genutzt. Aber auch Mikrowellenöfen, Funkthermometer und Kfz-Funkfernsteuerungen verwenden Frequenzen der ISM-Bänder.

Weitere lizenzfreie Frequenzen

Darüber hinaus kann in Europa weiterhin lizenzfrei der Frequenzbereich zwischen 868 und 870 MHz genutzt werden. Für unterschiedliche Anwendungen gelten teilweise abweichende Leistungen, Bandbreiten oder Belegungsdauern. Typische Anwendungen liegen im Bereich der Sicherheitstechnik (Alarm- und Brandmeldeanlagen) und der Gebäudeautomation. Ebenso sind häufig RFID-Systeme in diesem Frequenzbereich zu finden. Außerhalb Europas steht, z. B. in den USA, für ähnliche Applikationen der Frequenzbereich 902 bis 928 MHz zur Verfügung – hier als ISM-Frequenz. Für den DECT-Standard ist ein exklusiver Frequenzbereich von 1880 bis 1900 MHz reserviert, während DECT, z.B. in den USA, im 2,4 GHz ISM-Band betrieben wird (engl. als „upbanded DECT" bezeichnet). Der Bereich von 5,1 bis 5,7 GHz kann von WLAN-Systemen lizenzfrei genutzt werden, erfordert jedoch zusätzliche Maßnahmen wie eine dynamische Frequenzwahl und Leistungsregelung.

Tabelle 1: In Europa genutzte Frequenzen in der Automatisierungstechnik

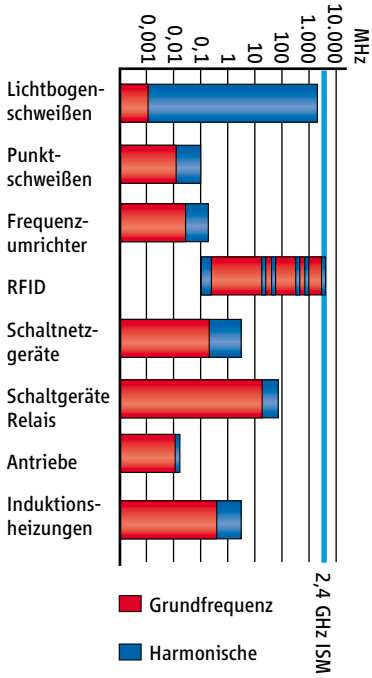
Frequenz in MHz	Nutzungsart	Nutzungsbedingungen/Ausgangsleistung	Eigenschaften
433 .. 434	Lizenzfrei (ISM)	Ausgangsleistung max. 10 mW ERP*, max. 10 % Belegungsdauer**	Gute Durchdringung, reduzierte Datenrate
448 und 459	Lizenzpflichtig	Ausgangsleistung max. 6 W, zeitsynchronisiert, eingeschränkte Belegungsdauer**	Gute Durchdringung, geringe Datenrate, hohe Reichweiten
410 .. 470	Lizenzpflichtig	Ausgangsleistung abhängig von der Frequenzzuteilung, typisch 6 W/12 W für mobile Geräte, Kanalraster typisch 12,5 kHz/25 kHz	Gute Durchdringung, hohe Reichweiten
863 .. 870 (USA: 902 .. 928 als ISM-Band)	Lizenzfrei	Ausgangsleistung 5 .. 500 mW ERP*, Kanäle teilweise mit 25 kHz Bandbreite Belegungsdauer** teilw. nur 0,1 %	Hohe Reichweiten
1880 .. 1900	Lizenzfrei nach DECT-Standard	Ausgangsleistung 250 mW peak ERP*, Zeitschlitz- und Frequenzmultiplex-verfahren	Gute Verfügbarkeit, hohe Ausgangsleistung
2400 .. 2483,5	Lizenzfrei (ISM)	Ausgangsleistung 10 mW (100 mW bei Verwendung von Bandspreiztechniken, innerhalb von Gebäuden Anwendung ohne Restriktionen), keine Einschränkungen bei Belegungs-dauer**	Nahezu weltweit verfügbar, hohe Bandbreite, bereits stark genutzt
5150 .. 5350 5470 .. 5725	Lizenzfrei (teilweise ISM)	Teilweise Ausgangsleistung von bis zu 1 W, teilweise Leistungsregelung und dynamische Frequenzwahl erforderlich	Geringe Durchdringung von Wänden, quasioptische Ausbreitung, hohe Bandbreite

* ERP - die effektiv an einer Antenne abgestrahlte Sendeleistung

** Die Belegungsdauer bezeichnet die relative zeitliche Nutzungsdauer des Mediums, die in einigen Frequenzbändern bestimmten Einschränkungen unterliegt.

Lizenzgebundene Frequenzen
Im Bereich der Automatisierungstechnik können nach Lizenzierung durch die Regulierungsstellen weitere Frequenzen genutzt werden. Als Beispiel seien hier 448 MHz und 459 MHz genannt, für die Einschränkungen bezüglich der zeitlichen Belegung der Frequenz gelten. Durch höhere erlaubte Sendeleistungen sind hier Reichweiten von bis zu 10 km erreichbar.

Abbildung 2: Störspektren von anderen typischen Anwendungen im industriellen Umfeld



1.2 Das 2,4 GHz ISM-Band

Basierend auf der Entwicklung preiswerter und ausgereifter Funkkomponenten, getrieben durch den Heim- und Bürobereich, halten auch zunehmend Funktechnologien im 2,4 GHz-Band Einzug in die Automatisierungstechnik. Inzwischen existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungen, bei denen verschiedene Standards, aber auch proprietäre Lösungen zum Einsatz kommen. Die wichtigsten werden in der Tabelle „Typische Funktechnologien in der Automatisierungstechnik im 2,4 GHz ISM-Band" am Ende der Broschüre auf den Seiten 16 und 17 kurz vorgestellt. Ein Grund für das starke Interesse am 2,4 GHz-Band ist, dass dieses ISM-Band mit nur geringen Einschränkungen weltweit lizenzfrei verfügbar ist und eine hohe Bandbreite aufweist. Diese erlaubt entweder eine hohe Datenrate oder kann zur Steigerung der Robustheit eines Funksystems eingesetzt werden.

Weiterhin reicht das Störspektrum im industriellen Umfeld, das zum Beispiel von Lichtbogenschweißgeräten oder Umrichtern ausgeht, nicht bis zu einer Frequenz von 2,4 GHz, so dass von diesen Geräten keine störenden Einflüsse ausgehen (siehe auch Abbildung 2).

Schwierigkeiten können jedoch entstehen, wenn sich die Sendebereiche unterschiedlicher Funkanwendungen im 2,4 GHz-Band überlagern. Aufgrund der starken Nutzung des 2,4 GHz-Bandes werden die Betrachtungen zur Koexistenz von Funkanwendungen für dieses Band stellvertretend durchgeführt.

1.3 Unterscheidungsmerkmale von Funksystemen

In der Automatisierungstechnik sind inzwischen diverse Funktechnologien anzutreffen. Sie unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich des genutzten Frequenzbandes, des Bandbreitenbedarfs und der Anzahl der Kanäle. Aus Anwendersicht sind auch die Datenrate, die Zykluszeit, die maximale Anzahl von Teilnehmern sowie das Koexistenzverhalten bedeutend für die Technologieentscheidung. Weitergehende Informationen zu einzelnen Funktechnologien können der Tabelle auf den Seiten 16 und 17 entnommen werden.

Bei der Auswahl von Funksystemen im 2,4 GHz-Band sollte die Anwendung zunächst klassifiziert werden, um den Parallelbetrieb mit ggf. bereits bestehenden Systemen sicherstellen zu können.

- Höchste Anforderungen hinsichtlich der Fehlersicherheit und Zuverlässigkeit stellt die Übertragung sicherheitsgerichteter Daten (z. B. Not-Halt).
- Geschlossene Regelkreise wie auch die Steuerung von Maschinen stellen bezüglich des Zeitverhaltens hohe Anforderungen.
- Sollen lediglich Daten zur Visualisierung oder zur Aufzeichnung übertragen werden, so sind diese weniger zeitkritisch, können aber eine hohe Datenrate erfordern.

Bedingungen im industriellen Umfeld
Im industriellen Umfeld ist das Übertragungsverhalten bei der Funkkommunikation starken Schwankungen unterworfen. Häufig existiert keine direkte Sichtverbindung aufgrund von z. T. bewegten Hindernissen zwischen den Funkteilnehmern. Mehrwegeempfang, der durch Reflektionen an Oberflächen hervorgerufen wird, führt durch Überlagerung der Wellen zu räumlich stark unterschiedlicher Stärke des Empfangssignals auf einigen Frequenzen. Die für den Einsatz in diesen Umgebungen konzipierten Funksysteme verwenden deshalb entsprechend ausgelegte Verfahren für den Medienzugriff (siehe auch Kasten „Verfahren für den Medienzugriff" auf Seite 9).

Verfahren für den Medienzugriff:

Durch unterschiedliche Verfahren für den Medienzugriff kann die Empfindlichkeit eines Funksystems gegenüber Umgebungseinflüssen und parallel betriebenen Systemen beeinflusst werden.

- Im einfachsten Fall werden die Daten auf eine feste Sendefrequenz aufmoduliert. Diese so genannten Schmalbandverfahren benötigen nur wenig Bandbreite, sind jedoch wegen der festen Sendefrequenz anfälliger gegenüber sich ändernden Ausbreitungsbedingungen oder Störungen.
- Beim Frequenzsprungverfahren (engl.: frequency hopping spread spectrum – FHSS) wird die Sendefrequenz sprunghaft nach einem dem Empfänger bekannten Muster geändert – Störungen betreffen nur einen Teil der Telegramme oder Daten, so dass nur ein geringer Anteil wiederholt gesendet werden muss.
- Spreizcodeverfahren (engl.: direct sequence spread spectrum – DSSS) verbreitern die für die Übertragung benötigte Bandbreite mittels eines Spreizcodes, mit dem das Datensignal multipliziert wird. Dieser Spreizcode macht die Übertragung unempfindlicher gegenüber schmalbandigen Störungen.
- Chirp-Modulationsverfahren (engl.: chirp spread spectrum – CSS) verteilen die Energie eines gesendeten Bits über einen größeren Frequenzbereich, indem dieser von der Sendefrequenz während des Sendevorgangs für jedes zu sendende Bit sehr schnell durchlaufen wird.
- Beim orthogonalen Frequenzmultiplexverfahren (engl.: orthogonal frequency division multiplexing – OFDM) werden die Eigenschaften der Schmalbandmodulation ausgenutzt, um mehrere Kanäle gebündelt dicht nebeneinander zu betreiben. Dies ermöglicht eine hohe Datenrate; bei schmalbandigen Störungen reduziert sich die Gesamtdatenrate nur um den jeweils betroffenen Anteil.

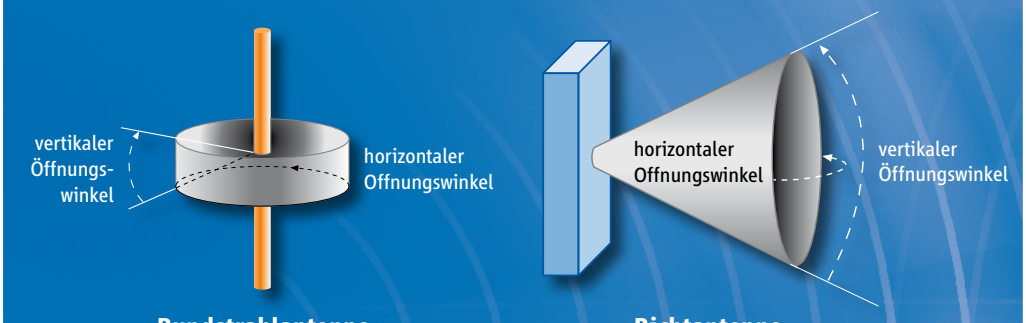
Funknetzwerke

In großen Anlagen werden oft große Reichweiten gefordert, so dass statt Punkt-zu-Punkt Verbindungen häufig Funknetzwerke mit mehreren Funkteilnehmern mit jeweils kleinerer Sendeleistung aufgebaut werden. So können zum Beispiel in der Prozessautomation weniger zeitkritische Sensordaten über mehrere Funkknoten hinweg zum eigentlichen Empfänger weitergeleitet werden. Das Netzwerkmanagement unterstützt dann nicht nur die einfache Datenweiterleitung, sondern auch die Suche nach alternativen Übertragungswegen innerhalb des Netzwerkes (engl. als Routing bezeichnet).

Antennen

Die erzielbaren Kommunikationsreichweiten von Funksystemen sind neben der Senderausgangsleistung, der Empfängerempfindlichkeit und den Umgebungsbedingungen auch von der Antenne abhängig. Je nach Aufbau der Antenne ist ihre Wirkung in bestimmte Richtungen erhöht bzw. reduziert. So hat jede Antenne ein charakteristisches Richtdiagramm. In Richtung der höchsten Empfindlichkeit wird typischerweise der maximale Leistungsgewinn angegeben. Dieser Gewinn gilt sowohl in Sende- als auch in Empfangsrichtung. Die Ausrichtung der Antennen zueinander muss bei der Installation eines Funksystems beachtet werden.

Unterschiedliche Richtwirkung von Antennen



Rundstrahlantenne **Richtantenne**

2 Verhalten von Funksystemen im Parallelbetrieb

Sobald mehrere Funksysteme gleicher oder verschiedener Art eingesetzt werden, besteht die Möglichkeit einer gegenseitigen Funkbeeinflussung. Aber wann und wodurch genau entsteht diese Beeinflussung beim Parallelbetrieb?

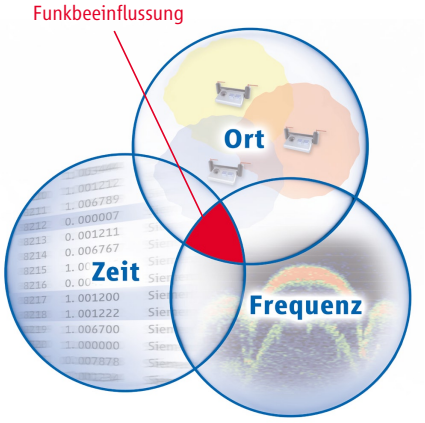


Abbildung 3: Nur bei gleichzeitig örtlicher, zeitlicher und frequenzmäßiger Überlappung gibt es eine Funkbeeinflussung

Prinzipiell kann eine Funkbeeinflussung nur dann auftreten, wenn mehrere Systeme

- am gleichen Ort,
- zur gleichen Zeit und
- auf der gleichen Frequenz funken (siehe Abbildung 3).

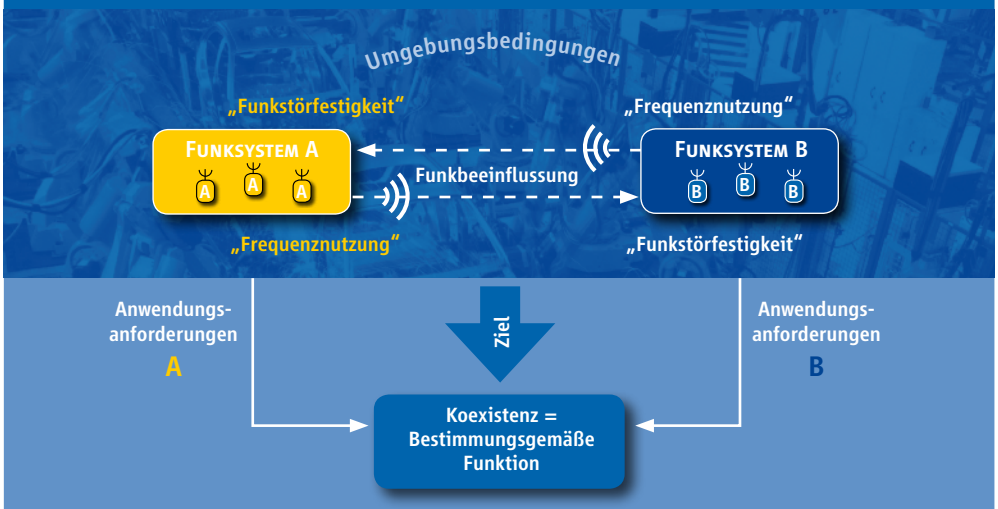
Die Ursache ist also immer die gleichzeitige Frequenznutzung, die praktischen Auswirkungen aber werden durch die Funkstörfestigkeit der beteiligten Funksysteme bestimmt.

Die örtlichen und frequenzmäßigen Überlappungen werden dabei durch die Funktechnologiewahl und die zugehörige Funkplanung bestimmt. Die zeitliche Überlappung wird neben der Funktechnologie auch durch die Anwendung selbst bestimmt, d.h.:

- Durch die Häufigkeit der Funknutzung: Wie oft und wie werden Datentelegramme verschickt, zyklisch oder ereignisgesteuert?
- Durch die Dauer der einzelnen Funknutzung: Wie lange dauert die Übertragung eines Funktelegramms (abhängig von Bitrate und Datenmenge)?

Von Koexistenz mehrerer Systeme spricht man, wenn trotz gegenseitiger Funkbeeinflussung der störungsfreie Betrieb, bezogen auf die jeweiligen Anwendungen, gegeben ist [1]. Die folgende Grafik zeigt die wesentlichen Einflussfaktoren von Funksystemen und definiert die verwendeten Begriffe.

Einflussfaktoren von Funksystemen im Parallelbetrieb

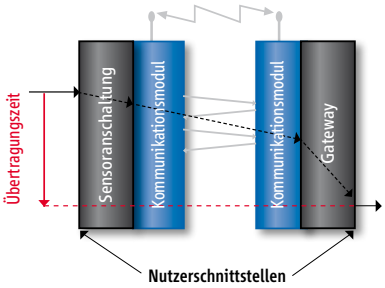


<u>Koexistenz</u> ist ein Zustand, in dem unterschiedliche Funksysteme bezogen auf ihre Anwendungen, deren Anforderungen und Randbedingungen (z. B. Umgebung) jeweils ihre bestimmungsgemäße Funktion erfüllen, trotz Vorhandenseins anderer Funksysteme.

<u>Funkstörfestigkeit</u> ist die Fähigkeit eines Funksystems, gegenüber Funkbeeinflussung durch andere Funksysteme und Änderungen von Umgebungsbedingungen robust zu sein.

<u>Frequenznutzung</u> ist die Eigenschaft eines Funksystems, welche die zeitliche, orts- und frequenzbezogene Belegung des Funkmediums beschreibt.

Abbildung 4: Die Übertragungszeit wird an den dem Nutzer zugänglichen Schnittstellen gemessen



Wie wirkt sich Funkbeeinflussung aus?
Für die Anwendungsbereiche in der Automatisierungstechnik wirkt sich eine Funkbeeinflussung hauptsächlich auf die Übertragungszeit der Datentelegramme aus. Es dauert also länger, bis ein Telegramm vollständig und richtig übertragen wird.

Diese Übertragungszeit wird an den für den Nutzer zugänglichen Schnittstellen gemessen, also beispielsweise die Zeitdauer vom Triggern eines Sensors bis zur Verfügbarkeit des Signals auf einem Feldbus oder vom Scannen eines Barcodes bis zur erfolgreichen Übergabe an ein Netzwerk (siehe Abbildung 4).

Die Messung der Übertragungszeiten über einen längeren Zeitraum und eine Analyse, wie häufig Verzögerungen auftreten (siehe Abbildung 5), ermöglicht deshalb eine schnelle Beurteilung, ob eine Funkbeeinflussung vorliegt und ob diese Funkbeeinflussung noch zulässig ist. Was noch als zulässig gilt, wird dabei durch die Anwendung vorgegeben (siehe Tabelle 2, Spalte 3). Übertragungszeit und Fehler- bzw. Telegrammverlustrate müssen unterhalb eines noch tolerierbaren Maximalwertes liegen (siehe roter Balken in Abbildung 5).

Bei Funk sind, im Vergleich zu einer Kabelübertragung, die Bitfehlerraten deutlich höher. Deshalb nutzen alle Funksysteme interne Mechanismen zur Fehlerkorrektur und Telegrammwiederholung. Einige Funktechnologien hören zudem zuerst das Funkmedium ab und warten ggf. mit ihrer Übertragung. Funkübertragungen sind deshalb immer durch eine gewisse Schwankungsbreite („Jitter“) im Zeitverhalten gekennzeichnet, die z.T. ein Vielfaches der minimalen Übertragungszeit betragen kann. Diese Schwankungsbreite durch Funkbeeinflussung fällt mehr oder weniger deutlich aus, je nach Funkstörfestigkeit des betrachteten Systems.

In den verschiedenen Anwendungsbereichen kann die geforderte Telegrammverlustrate sehr unterschiedlich sein (siehe Tabelle 2, Spalte 5). Beim Einsatz des Funksystems zur Steuerung einer Maschine sollte z.B. der Stillstand durch Überschreiten einer Zeitschranke nie eintreten (sehr kleine Fehlerrate erforderlich), wohingegen beim Senden von Messdaten eines Vibrationsmesssensors selbst ein sporadischer Datenverlust bzw. das Überschreiten einer Zeitschranke ab und zu noch toleriert werden kann (relativ hohe Fehlerrate zulässig).

Abbildung 5: Beispielhaftes Zeitverhalten ohne (oben) und mit Funkbeeinflussung (unten)

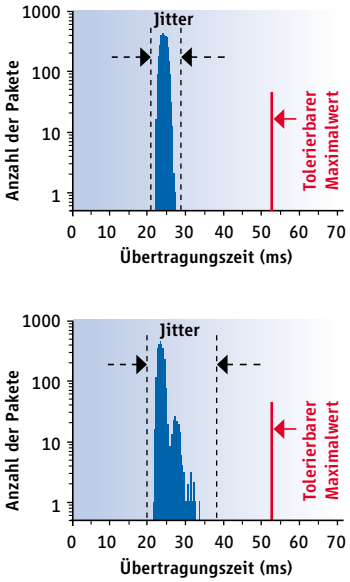


Tabelle 2: Typische Einsatzfälle in der Fertigungs- und der Prozessautomation, Anforderungen an das Zeitverhalten und die Telegrammverlustraten

Anwendungsbereich	Einsatzfall	Max. Übertragungszeit in ms	Aktualisierungszeit in ms	Telegrammverlustrate bzw. Zeitüberschreitung*
Fertigungsautomation	Steuerung** Maschine und Fertigungszelle „lokal“	10 .. 20	20 .. 30	$< 10^{-9}$
	Steuerung Fertigungshalle „global“	20 .. 30	30 .. 100	$< 10^{-9}$
	Überwachung und Diagnose	> 100	> 500	10^{-3} - 10^{-9}
	Mobiles Bedienen, Safety	10 .. 20	10 .. 30	$< 10^{-9}$
Prozessautomation	Steuerung/Regelung	50 .. 100	100 .. 5000	$< 10^{-4}$
	Bedienen „lokal“	> 100	< 1000	$< 10^{-3}$
	Überwachung und Diagnose	> 100	> 10000	$< 10^{-4}$

* Aus Anwendersicht wird das Überschreiten der max. Übertragungszeit einem Telegrammverlust gleichgesetzt, da beispielsweise die Information irrelevant geworden ist.
** Schnelle Antriebsregelungen mit Zeitkonstanten im Bereich 1 ms können mit heutigen Funktechnologien nicht zuverlässig abgedeckt werden.

3 Der Weg zur Koexistenz

Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen zeigen, dass bei allen Funksystemen sorgfältig und überlegt mit der knappen Ressource Funk umgegangen werden muss. Dies ist mit naheliegenden Maßnahmen einfach und ohne großen Aufwand erreichbar. Zudem sind alle Beteiligten frühzeitig in die Planung mit einzubeziehen, so dass zwischen den unterschiedlichen Bereichen eines Unternehmens, die Funktechnik einsetzen möchten, ein Interessenausgleich und eine Priorisierung herbeigeführt werden kann.

Dieser Interessenausgleich und eine Priorisierung erfolgen erfahrungsgemäß nicht immer rechtzeitig, da, bedingt durch die Verfügbarkeit verschiedener Lösungen für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche, Funksysteme nicht überall gleichzeitig eingeführt werden. Zudem wird der Begriff Funk von den IT-Abteilungen oder anderen Nutzergruppen oftmals mit WLAN und den darüber abgewickelten Netzwerkverbindungen und Datenübertragungen gleichgesetzt, so dass es hier ggf. zu einem Verständigungsproblem kommen kann. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann das eigentliche Koexistenzmanagement von Funksystemen betrieben werden.

Das Koexistenzmanagement umfasst im Wesentlichen die folgenden Schritte:

1. Die Registrierung aller Funkanwendungen in allen Unternehmensbereichen, nach folgenden Kriterien:
   - Wo wird welches Funksystem in welchem Frequenzbereich betrieben?
   - Wer ist verantwortlich?
   - Was ist die genaue Anwendung?
   - Wie ist die zeitliche Belegung des Funkmediums?
2. Die Beurteilung der Koexistenzsituation und sofern nötig,
3. die Minimierung der Funkbeeinflussung.
4. Laufende Überprüfung nach der Installation bzw. Erhaltung der Situation (regelmäßige Kontrolle der Einhaltung der Vorgaben des Frequenzmanagements).

Die einzelnen Abläufe des Koexistenzmanagements sind in der VDI-Richtlinie 2185 [1] näher erläutert. Diese Schritte, insbesondere die Minimierung der Funkbeeinflussung, sollten im Zweifelsfall immer von einem Experten begleitet bzw. durchgeführt werden.

Im Folgenden wird die Minimierung der Funkbeeinflussung näher betrachtet. Ziel ist es, die Funksysteme in mindestens einem der Bereiche Ort, Frequenz oder Zeit (siehe Abbildung 3, Seite 10) zu entkoppeln, so dass die Funktion der beteiligten Systeme gewährleistet ist.

3.1 Räumliche Entkopplung

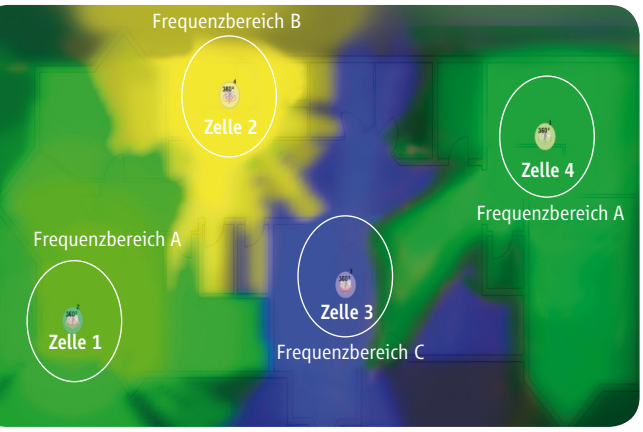


Abbildung 6: Beispiel einer Funkfeldplanung mit örtlicher Trennung mehrerer Funkzellen und Frequenzwiederholung

Die Sendeleistung eines Funksystems bestimmt die räumliche Ausdehnung der Funkzelle, da die ausgestrahlte Signalstärke mit zunehmender Entfernung von der Sendeantenne stark abnimmt. Damit ist das Frequenzband als Ressource in einer sicheren Entfernung wieder durch andere Systeme nutzbar, allerdings abhängig von der Empfängerempfindlichkeit des anderen Funksystems. Die Sendeleistung sollte daher so klein wie möglich gewählt werden, um die Wiederverwendung genutzter Frequenzbereiche zu ermöglichen.

Empfindliche Empfänger führen zu einer Ausdehnung der Reichweite, erhöhen aber gleichzeitig die Gefahr einer Funkbeeinflussung durch andere. Über die Auswahl der Antennen kann die räumliche Ausdehnung zusätzlich beeinflusst werden. So gibt es Antennen mit verschiedenen Richtcharakteristiken und daraus resultierenden Antennengewinnen. Durch eine geeignete Antennenplatzierung kann ebenfalls eine Optimierung des Funksystems erreicht werden.

In der Regel können Anwender mit Hilfe von Planungstools Funkfeldplanungen durchführen, z. B. für WLAN- oder Bluetooth-Systeme. Dazu gehören unter anderem die Einstellung der Sendeleistung, die Antennenauswahl sowie deren Platzierung und Ausrichtung.

Abbildung 6 zeigt als Beispiel eine Funkfeldplanung, in der den Funkzellen 1 bis 3 jeweils ein anderer, sich nicht überlappender Frequenzbereich A bis C zugewiesen wurde. Funkzelle 4 ist räumlich von Funkzelle 1 soweit entfernt, dass Funkzelle 4 den Frequenzbereich A erneut nutzen kann, ohne Funkzelle 1 zu beeinflussen.

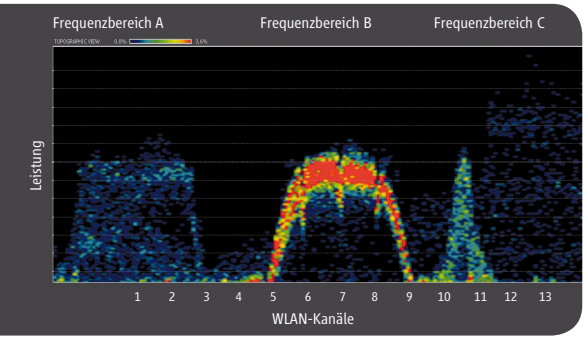


Abbildung 7: Frequenztrennung durch verschiedene Frequenzbereiche bei frequenzstatischen Funksystemen

3.2 Entkopplung im Frequenzbereich

Die Frequenzbelegung eines Systems ist durch die Wahl einer Funktechnologie und deren Einstellungen vorgegeben. Prinzipiell unterscheidet man dabei frequenzstatische Systeme, denen ein Frequenzbereich statisch durch Konfiguration zugewiesen wird (z. B. WLAN) und frequenzdynamische Systeme (z. B. Bluetooth), welche mit Hilfe von Sprungsequenzen verschiedene Kanäle des gesamten Frequenzbandes gleichmäßig belegen.

Beide Arten der Frequenzbelegung besitzen die Möglichkeit der Entkopplung im Frequenzbereich:

- Frequenzstatische Funksysteme untereinander ermöglichen eine einfache Trennung im Frequenzbereich, indem für jedes System ein Frequenzbereich exklusiv reserviert wird (siehe Abbildung 7).
- Frequenzdynamische Funksysteme untereinander benötigen keine exklusive Reservierung. Sie wechseln ständig mit unterschiedlichen Sprungmustern die Frequenz, so dass im Falle einer Kollision die Übertragung auf einer anderen Frequenz wiederholt wird.
- Zur Entkopplung von am gleichen Ort betriebenen frequenzdynamischen und -statischen Funksystemen können frequenzdynamische Systeme mit einer sogenannten Blacklist arbeiten, d.h. sie meiden die Frequenzen, die von frequenzstatischen Systemen benutzt werden.

Die durchgeführten Messungen zeigen, dass die Generierung einer solchen Blacklist für automatisierungstechnische Anwendungen nicht automatisch durch das Funksystem selbst, sondern mit Hilfe einer Planung erfolgen sollte. Automatische Mechanismen können andere Frequenznutzer häufig nur dann erkennen, wenn diese oft und lange genug senden, was für industrielle Automationsanwendungen aber nicht unbedingt typisch ist. Zum Beispiel erkennt Bluetooth andere Funksysteme nur, wenn diese den Funkkanal zu 10 % oder mehr auslasten. Zu beachten sind zudem Empfängereigenschaften, die z. T. Nachbarfrequenzen nicht beliebig scharf ausblenden können.

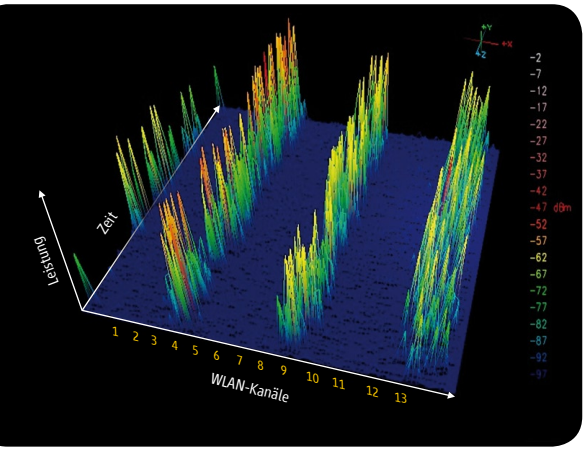


Abbildung 8: Beispiel für Blacklisting: Ein Bluetooth System lässt Platz für mehrere WLAN Kanäle

Abbildung 8 zeigt als Beispiel die Nutzung des 2,4 GHz-Bandes durch ein Bluetooth-System. Dem System ist eine Blacklist übermittelt worden, womit es die Frequenzbereiche dreier WLAN-Systeme (auf den Kanälen 1, 6 und 11) ausblendet und nur die „Lücken" benutzt.

Aufgrund der Vielzahl an Funkkomponenten und möglichen Anwendungen im 2,4 GHz-Band wird dieses als Ressource sehr wertvoll. Die Bandbreite ist zwar vergleichsweise groß, aber doch beschränkt. Zur Entkopplung im Freqenzbereich wird deshalb geraten, sofern möglich, insbesondere mit großen Datenmengen bzw. hohen Belegungen (Duty Cycles) in das 5 GHz-Band auszuweichen. Das 5 GHz-Band, welches in einigen Ländern ein Vielfaches an Bandbreite im Vergleich zum 2,4 GHz-Band bietet, wird derzeit noch wenig genutzt.

3.3 Zeitliche Entkopplung

Nutzen verschiedene Funksysteme die gleichen Frequenzen am gleichen Ort, so können trotzdem alle ihre jeweiligen Aufgaben zuverlässig erfüllen. Dies ist dann möglich, wenn die zeitliche Belegung durch alle Systeme gering ist und entsprechende Fehlerkorrekturmechanismen zum Einsatz kommen. Dann können sie in den Übertragungspausen der jeweils anderen Systeme ihre eigenen Daten übertragen. Die zeitliche Belegung wird in der Regel von der Anwendung vorgegeben, z. B. durch die Anzahl der Datenübertragungen pro Zeiteinheit bzw. den Abstand zwischen zwei Datenpaketen.

Die zeitliche Belegung hängt weiterhin direkt mit der Datenrate des verwendeten Systems zusammen. Ist die Datenrate eines Systems größer, dann wird weniger Zeit zur Übertragung eines Datenpakets benötigt als mit einem System mit geringerer Datenrate.

Wird eine typische Datenübertragung bei der Steuerung einer Anlage im zeitlichen Verlauf betrachtet, stellt man fest, dass das Funkmedium durch ein Einzelsystem gering ausgelastet ist und Freiraum für weitere Funksysteme zur Verfügung steht.

„Tatsächliche" Frequenznutzung:

Die tatsächliche zeitliche Frequenznutzung ist nicht nur abhängig vom Datenaufkommen einer Applikation, sondern auch von der Anzahl der Funksysteme und bei fast allen Funksystemen auch von der Anzahl der jeweiligen Teilnehmer. Allerdings steigt mit zunehmender Anzahl von Funksystemen und -teilnehmern in der Regel ab einem gewissen Grad die Frequenznutzung überproportional. Gründe dafür sind Paketwiederholungen, verursacht durch zunehmende Kollisionen, und der sogenannte Protokoll Overhead, welcher zusätzlich zu den eigentlichen Nutzdaten übertragen wird.

Funksysteme in industriellen Anwendungen weisen häufig eine geringe zeitliche Frequenzbelegung auf, z. B. bei der ereignisgesteuerten Übertragung von Sensorzuständen oder der drahtlosen Anbindung von Scannern für die Logistik.

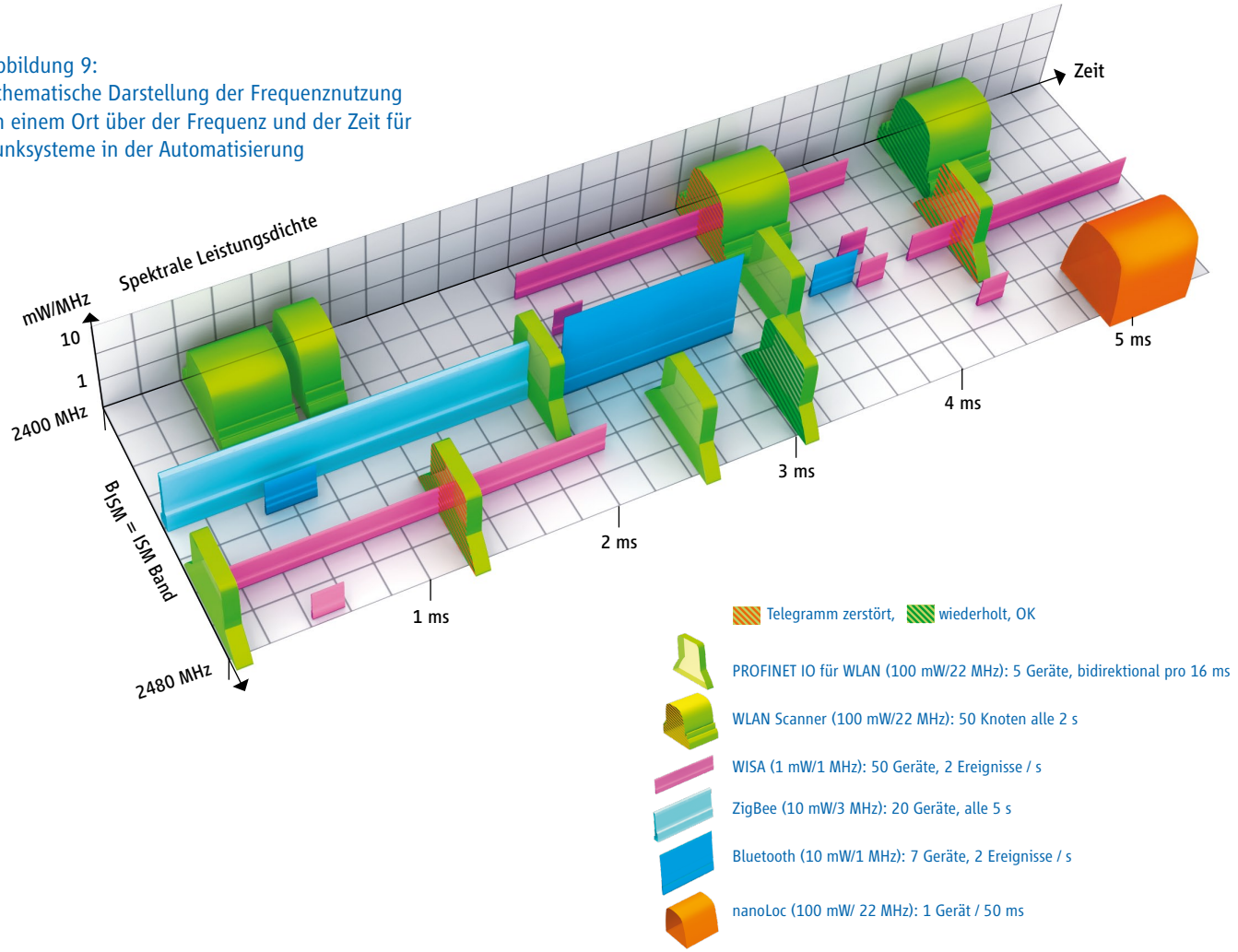
Im derzeitigen praktischen Einsatz überwiegen zudem Anwendungen mit geringen Anforderungen an die Antwortzeiten. Akzeptable Werte können dann bei deutlich über 100 ms liegen, ähnlich den Antwortzeiten bei einfachen Datenübertragungen in einem IT-Netzwerk. Bei solchen Systemen muss in erster Linie ein Verbindungsabbruch durch zu lange Verzögerungen oder durch ständige, wenn auch kurze Störeinflüsse vermieden werden.

Allerdings haben nicht alle industriellen Anwendungen derart geringe zeitliche Anforderungen bzw. kurze Medienbelegungsdauern. Der schnelle Datenaustausch zwischen einer zentralen Steuerung und dezentralen Peripheriebaugruppen kann beispielsweise Antwortzeiten im Bereich weniger Millisekunden erfordern, jedoch mit einer durchschnittlich geringen Belegung des Funkmediums. Die permanente Videoübertragung von einer Kamera dagegen belegt das Funkmedium über die Zeit fast vollständig und ist zugleich zeitkritisch.

Zum besseren Verständnis soll die dreidimensionale Darstellung in Abbildung 9 den Zusammenhang von Signalstärke bzw. Sendeleistung, Frequenzbelegung und zeitlichem Verlauf verdeutlichen. Sie zeigt schematisch die Belegung des 2,4 GHz-Bandes, wie es heute in der Industrie bei Automatisierungsanwendungen mit einer Reihe von typischen Funksystemen vorgefunden werden kann. Die in verschiedenen Farben dargestellten Volumen der Telegramme repräsentieren dabei den tatsächlichen Ressourcenverbrauch der verschiedenen Funktechnologien und veranschaulichen den Begriff „Frequenzbelegung".

Eine zeitliche Entkopplung mehrerer Funksysteme ist bei mehr als einer zeitkritischen Anwendung für den Laien nur schwer beurteilbar, insbesondere wenn eines der Funksysteme eine geringe Störfestigkeit aufweist. In diesem Fall sollte ein Experte hinzugezogen werden.

Abbildung 9:
Schematische Darstellung der Frequenznutzung an einem Ort über der Frequenz und der Zeit für Funksysteme in der Automatisierung



3.4 Zusammenfassung Koexistenzmanagement

Obwohl Aussagen über Koexistenz immer im Zusammenhang mit den konkreten Anwendungen betrachtet werden müssen, lassen sich aus der Praxis und den Messungen, die dieser Broschüre zugrunde liegen, folgende Aussagen ableiten:

- Die Funkbeeinflussungen der untersuchten Funksysteme in typischen industriellen Anwendungen sind gering, da in der Automatisierung die Datentelegramme häufig sehr kurz sind und zudem zeitlich entzerrt auftreten.
- Beim parallelen Betrieb unterschiedlicher Systeme mit mehr als einer zeitkritischen Anwendung sollte ein Koexistenzmanagement mit Hilfe eines Fachmannes durchgeführt werden.

Folgende Vorgehensweise kann empfohlen werden:

1. In der Regel sollte in der Planungs- und Projektierungsphase eine Funkfeldplanung durchgeführt werden. Schon hierbei hat man mit Platzierung, Antennenauswahl und Frequenzvergabe Einfluss bei der Einbettung in die vorhandene Anlage.
2. Liegen dennoch räumliche wie auch frequenzmäßige Überlappungen vor, müssen sowohl die zeitliche Auslastung und das Frequenzverhalten der Systeme als auch die Zuverlässigkeitsanforderungen der Applikationen betrachtet werden.
3. Existieren Funksysteme mit zeitkritischen Applikationen und geringer Störfestigkeit, müssen alle betroffenen Systeme auf die Sicherstellung der Koexistenz geprüft werden. Besteht keine Möglichkeit, solche Systeme räumlich oder im Frequenzbereich zu trennen, sollte ein Experte hinzugezogen werden (siehe [1]).

Koexistenz ist durch Entkopplung in mindestens einem der Bereiche Ort, Frequenz und Zeit möglich:

Örtliche Entkopplung
- Anpassung der Sendeleistung
- Auswahl der Antennen
- Platzierung bzw. Ausrichtung der Antennen

Entkopplung im Frequenzbereich
- Kanalwahl
- Blacklisting von Frequenzbereichen bzw. Kanälen

Minimierung der zeitlichen Frequenzbelegung
- Möglichst niedrige durchschnittliche Auslastung aller Einzelsysteme

4 Ausblick

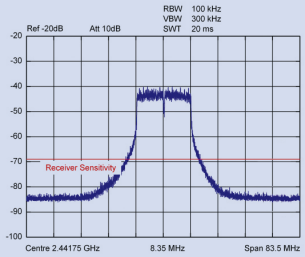
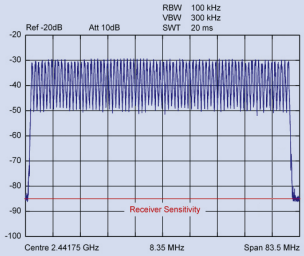
Die guten Erfahrungen mit aktuellen Funktechnologien werden zu einer weiteren Verbreitung und Etablierung von Funksystemen beitragen. Dazu ist Koexistenzmanagement auch zukünftig eine wesentliche Voraussetzung. So arbeiten die Hersteller industrieller Funksysteme aufgrund der Wichtigkeit der Koexistenzthematik auch an der Verbesserung der Funkstörfestigkeit.

Daneben werden im Laufe der Jahre neue Funktechnologien hinzukommen, welche eher zu einer noch stärkeren Auslastung der Frequenzen führen werden als zur Verringerung von Funkbeeinflussungen.

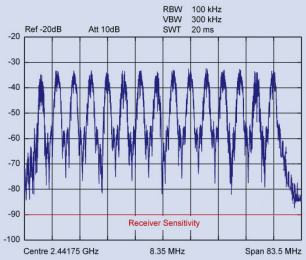
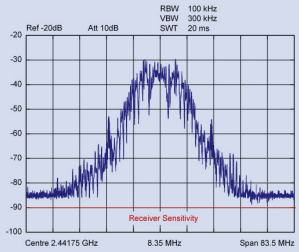
Neue, durch die Regulierungsstellen erst noch freizugebende Frequenzbänder könnten langfristig mehr Bandbreite bringen. Es ist allerdings zu erwarten, dass auch diese nach und nach immer stärker genutzt werden und sich eine der derzeitigen Situation ähnliche Lage einstellt.

Somit gewinnt das Koexistenzmanagement immer mehr an Bedeutung. Es bietet zur Sicherstellung eines störungsfreien Parallelbetriebs von Funksystemen mehrere Maßnahmen, die – wie gezeigt – naheliegend und einfach plan- und durchführbar sind.

Typische Funktechnologien in der Automatisierungstechnik im 2,4 GHz

Medienzugriff	DSSS/OFDM Spreizcodeverfahren/ Frequenzmultiplexverfahren	FHSS Frequenzsprungverfahren	
Bandbreite	22 MHz	1 MHz	
Anzahl Kanäle	14 (3 überlappungsfrei)	79	
Spektrum			
Funktechnologie	WLAN	Bluetooth	WISA
Kanalwahl	statisch	dynamisch	dynamisch
Beschreibung	WLAN ist ein Funkstandard nach IEEE 802.11 zum Aufbau drahtloser Local Area Networks. Charakteristisch für WLAN sind hohe Datenraten, eine große Teilnehmeranzahl und mittlere Reichweiten. Es ermöglicht mobilen Teilnehmern das Roaming zwischen Access Points und, z. B. in Verbindung mit PROFINET, auch eine drahtlose, deterministische Kommunikation zwischen Automatisierungsgeräten, sogar bei sicherheitsgerichteten Applikationen. In Substandards werden unter anderem die genutzten Frequenzen innerhalb der lizenzfreien ISM-Bänder definiert. IEEE 802.11b und g nutzen drei überlappungsfreie Kanäle mit einer Bandbreite von je 22 MHz im 2,4 GHz-Band mit Bruttodatenraten von 11 bzw. 54 Mbit/s. IEEE 802.11h verwendet 19 überlappungsfreie Kanäle von je 22 MHz Breite im 5 GHz-Band, ebenfalls mit einer Datenrate von 54 Mbit/s brutto. Durch Authentifizierungs- und Verschlüsselungsverfahren (WPA2, AES) sorgt WLAN für Datensicherheit bei der drahtlosen Übertragung.	Die Bluetooth-Funktechnologie ist nach IEEE 802.15.1 standardisiert. Die Bluetooth SIG (Special Interest Group) definiert Applikationsprofile, z. B. für die Sprachübertragung. In industriellen Applikationen stehen für Steuerungs- und Parametrierungsaufgaben die Anwendungsprofile Serielle Datenübertragung (SPP) und Personal Area Networks (PAN) für die transparente Ethernetübertragung zur Verfügung. Es verfügt über Authentifizierung und Verschlüsselungsverfahren. Die Nettoübertragungsrate ist mit ca. 700 kBit/s für diese Automatisierungsanwendungen ausreichend. Bluetooth verwendet ein adaptives Frequenzsprungverfahren (FHSS) mit 1600 Frequenzsprüngen pro Sekunde auf maximal 79 Kanälen mit einer Bandbreite von jeweils 1 MHz, wobei viele Systeme parallel betrieben werden können. Dieses Frequenzsprungverfahren stellt sich insbesondere in industrieller Umgebung als robuste Technologie heraus, da es gut mit Effekten wie Mehrwegeausbreitung in stark reflektierenden Umgebungen umgehen kann.	WISA (Wireless Interface für Sensoren und Aktoren) ist für den lokalen Einsatz in Steuerungen der Fabrikautomation konzipiert. Es basiert auf der physikalischen Schicht des Standards IEEE 802.15.1 (Bluetooth) und nutzt ebenfalls 79 Sprungfrequenzen mit einer Bandbreite von 1 MHz. WISA verwendet ein Frequenzsprungverfahren mit einem für WLAN und Zigbee optimierten Zeitraster von 2 ms und großer Mindestsprungweite, um aus bereits genutzten oder gestörten Frequenzbereichen sicher herauszuspringen. In dem 2 ms Zeitraster können bis zu 120 Teilnehmer überlappungsfrei kommunizieren. WISA arbeitet mit einer festen, kleinen Sendeleistung von 1 mW, um mit vielen kleinen Funkzellen eine beliebige Anzahl von Funkteilnehmern in einer Fabrikhalle nutzen zu können. WISA ist insbesondere durch einen geringen Energieverbrauch und durch ein robustes und deterministisches Zeitverhalten unabhängig von der Teilnehmerzahl gekennzeichnet.	

ISM-Band

	DSSS Spreizcodeverfahren			CSS Chirp-Modulationsverfahren
	5 MHz			80 MHz / 22 MHz
	16			1 / 7 (3 überlappungsfrei)
				
	WirelessHART	ZigBee	MeshScape	nanoLOC
	dynamisch	statisch	dynamisch	statisch
	WirelessHART ist die Erweiterung des HART Standards für die drahtlose Kommunikation und wurde speziell für die Überwachung, Diagnose und langsame Steuerung in der Prozessautomatisierung entwickelt. Auf der physikalischen Ebene basiert WirelessHART auf dem IEEE 802.15.4 Standard. Um eine Abdeckung großer Anlagen mit einer geringen Anzahl von Zugangspunkten zu erreichen, besitzen die Teilnehmer eines WirelessHART-Netzwerks Routing-Funktionalität, d.h. Daten anderer Teilnehmer werden im Netz weitergeleitet. Es ergeben sich dadurch alternative Datenpfade, so dass auch bei lokalen Funkstörungen keine Datenverluste auftreten. Alle Aspekte dieses Netzwerks werden durch eine spezielle Software, den Netzwerk-Manager, gesteuert. So werden die Frequenzbelegung und die zeitliche Abfolge gesteuert, damit zwischen den Teilnehmern auf den unterschiedlichen Pfaden gleichzeitig Informationen ausgetauscht werden können.	ZigBee unterstützt den Aufbau vermaschter und sternförmiger Netze mit großen räumlichen Ausdehnungen. Es ist dabei besonders auf geringe Datenraten, geringen Energieverbrauch, Security und Verfügbarkeit fokussiert worden. ZigBee basiert auf dem IEEE 802.15.4 Standard. ZigBee wurde hinsichtlich des Energiebedarfs so optimiert, dass autarke Sensorknoten lange Laufzeiten von bis zu mehreren Jahren ohne Batteriewechsel erreichen können. Obwohl die ZigBee Allianz den gesamten Automatisierungsbereich adressiert, zielt der Standard vor allem auf den Bereich der Heim- und Gebäudeautomatisierung. Es wurde für eine Bruttodatenrate von 250 kBit/s im 2,4 GHz-Band konzipiert; weitere Kanäle mit geringeren Datenraten stehen in anderen Bändern zur Verfügung.	MeshScape basiert auf IEEE 802.15.4, ergänzt um ein Netzwerkprotokoll für vermaschte, selbstorganisierende Netze, das sich vor allem durch hohe Zuverlässigkeit für Datenübertragung in beide Richtungen sowie Fehlertoleranz auszeichnet und selbstständig schnelle Anpassungen bei Änderungen im Netzwerk, z. B. bei gestörter Übertragungsstrecke oder nicht erreichbaren Netzwerkknoten, ermöglicht. Die Technologie bietet eine hohe Energieeffizienz und sichert so auch für Router eine lange Batterielebensdauer sowie Skalierbarkeit, die Netze mit hundert und mehr Teilnehmern ermöglicht. MeshScape bietet eine ereignisgesteuerte Übertragung kleiner Datenpakete von wenigen Bits bis hin zu einigen Dutzend Bytes mit Latenzzeiten im Bereich von Millisekunden bis zu wenigen Sekunden, abhängig von der Netzwerkgröße. Es ist damit besonders für allgemeine Anwendungen in der Prozessautomation sowie zur Überwachung und Diagnose in der Fabrik- und Prozessautomation geeignet.	Die nanoLOC-Technologie, deren Medienzugriff als IEEE802.15.4a standardisiert ist, kann sowohl zum Aufbau von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen als auch von Netzwerken eingesetzt werden. Charakteristisch ist die robuste Modulationstechnik Chirp Spread Spectrum (CSS). Das Sendesignal durchläuft für jedes übertragene Bit in einer kurzen, vorgegebenen Zeit von z. B. 1 µs einen wählbaren Frequenzbereich von 22 MHz Bandbreite (7 überlappende Kanäle verfügbar) oder 80 MHz Bandbreite (1 Kanal verfügbar). Die Dauer und der durchlaufene Frequenzbereich des Sendesignals bestimmen die Robustheit der Übertragung, z. B. bei Mehrwegeempfang. Dies ermöglicht eine hohe Verfügbarkeit und Reichweite in schwierigen Umgebungen ohne direkten Sichtkontakt. Die Bruttodatenrate beträgt je nach eingestellter Betriebsart zwischen 250 kBit/s und 2 MBit/s. Aufgrund der Eigenschaften des CSS-Signals wird eine laufzeitbasierte Entfernungsbestimmung zwischen den Funkteilnehmern bzw. deren Ortung ermöglicht.

FAQ – Frequently Asked Questions

Kann man die Koexistenz industrieller Funklösungen konfigurieren?

Je nach Hersteller und Funklösungen werden verschiedene Parameter für die Koexistenz von Funklösungen unterstützt. Typische Parameter sind Sendeleistung, Kanal, Zugriffsverfahren oder Blacklisting.

Gibt es einen Koexistenzindikator?

Koexistenz ist nicht die Eigenschaft eines Funksystems, sondern ein Zustand, in dem unterschiedliche Funksysteme ihre bestimmungsgemäße Funktion erfüllen, trotz Vorhandenseins der jeweils anderen Funkanwendung (nach VDI-Richtlinie 2185) und Funkbeeinflussung. Ein konkreter Indikator, bzw. eine einfache Messgröße, z. B. in Form einer Zahl, ist nicht verfügbar.

Spielt der Antennentyp bzw. die Antennenausrichtung eine Rolle?

Die Wahl der Antenne beeinflusst die örtliche Ausbreitung und den Empfang von Funksignalen. Hersteller von Antennen bieten entsprechende Diagramme an, die die Abstrahlcharakteristik einer Antenne im Raum beschreiben. Für eine optimale Verbindung sollten alle Antennen im Bereich maximaler Abstrahlung mit gleicher Ausrichtung verwendet werden. Zu beachten ist, dass Störreichweiten ein Vielfaches der Funktionsreichweiten betragen können.

Wer bewertet Koexistenz?

Die VDI-Richtlinie 2185 schlägt neben der Einführung eines Koexistenzmanagements auch die Benennung eines Frequenzbeauftragten vor, der für die Bewertung im Anwendungsumfeld verantwortlich ist.

Haben typische industrielle Anlagen einen Einfluss auf die Funkübertragung?

Typische weitverbreitete Anlagen wie Motoren und Stromrichter haben keinen Einfluss. Je nach eingesetzter Funklösung können verschiedene industrielle Applikationen wie Mikrowellen oder Schweißanlagen Störungen im Frequenzbereich der Funkanwendung verursachen. Die Hersteller der Funksysteme können Auskunft über potentielle Störer im Frequenzband einer Funklösung und entsprechende Maßnahmen zur Gewährleistung der Funktion des Funksystems geben.

Warum gibt es kein eigenes Frequenzband für industrielle Applikationen?

Das 2,4 GHz-Band ist eines der wenigen, nahezu weltweit verfügbaren lizenzfreien Frequenzbänder für industrielle Applikationen. Die Einrichtung eines eigenen, weltweit verfügbaren Bandes für die Automatisierungstechnik würde viele Jahre in Anspruch nehmen und eine Vielzahl von Anwendungen erfordern, um es zu legitimieren. Zudem ist zu erwarten, dass auch dieses Band nach und nach immer stärker genutzt werden würde und sich eine der derzeitigen Situation ähnliche Lage einstellt.

Wie kann man Koexistenz dauerhaft sicherstellen?

Um die Koexistenz von Funklösungen sicherzustellen, wird empfohlen, alle verwendeten Funklösungen durch ein Koexistenzmanagement (z. B. nach [1]) zu organisieren und zu überwachen.

Wieso ist Koexistenz ein Thema in der Industrie und nicht zu Hause?

Koexistenz ist überall ein Thema, wo mehrere Funklösungen eingesetzt werden. Industrielle Funklösungen unterliegen jedoch teilweise wesentlich höheren Anforderungen bezüglich der Verfügbarkeit als Anwendungen im privaten Sektor. Entsprechend hat die Koexistenz im industriellen Bereich eine höhere Bedeutung.

Wird „IT-WLAN“ durch Automatisierungsfunk gestört?

Die Funktion des IT-WLAN ist bei aktuellen Automatisierungsfunkkomponenten der beteiligten Firmen grundsätzlich gewährleistet, sofern nicht zeitkritische Anwendungen im ms-Bereich eingesetzt werden. Das IT-WLAN muss dennoch in das Koexistenzmanagement einbezogen werden.

Dürfen Handys, Laptops, Sprechfunkgeräte, Freisprecheinrichtungen oder Messgeräte in Hallen mit drahtlosen Automatisierungslösungen gebracht werden?

Wenn industrielle Anwendungen im 2,4 GHz ISM-Band betrieben werden, ist davon abzuraten, Handys, Laptops, PDAs usw. **mit aktivem Bluetooth oder WLAN** unkontrolliert in den entsprechenden Hallen zu betreiben, da die Einflüsse auf die bestehenden industriellen Lösungen nicht immer abschätzbar sind. Industrielle Applikationen in anderen Frequenzbändern können im Nahbereich ebenfalls durch Störer (z. B. Sprechfunkgeräte, Fernsteuerungen) in deren Band beeinflusst werden.

Stört ein „normales“ Handy?

Handys funken auf eigenen Frequenzen, so dass keine Störungen von Automatisierungsfunkanwendungen zu befürchten sind, sofern Bluetooth und WLAN deaktiviert sind.

Was ist mit der IT-Abteilung abzustimmen?

Die IT-Abteilung ist in das Koexistenzmanagement mit einzubeziehen, wenn Funklösungen von ihr betrieben werden.

Literatur

[1] Richtlinie VDI/VDE 2185 „Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik“, Herausgeber: VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik; Beuth Verlag, September 2007

Automation

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.
Fachverband Automation
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Fon: 069 6302-305
Fax: 069 6302-319
Mail: automation@zvei.org
www.zvei.org