

DIN EN 62657-1

ICS 25.040.01; 33.040.40; 35.240.50

**Industrielle Kommunikationsnetze –
Funk-Kommunikationsnetze –
Teil 1: Anforderungen und Überlegungen zur Frequenznutzung
(IEC 62657-1:2017);
Deutsche Fassung EN 62657-1:2017**

Industrial communication networks –

Wireless communication networks –

Part 1: Wireless communication requirements and spectrum considerations

(IEC 62657-1:2017);

German version EN 62657-1:2017

Réseaux de communication industriels –

Réseaux de communication sans fil –

Partie 1: Exigences de communication sans fil et considérations relatives au spectre

(IEC 62657-1:2017);

Version allemande EN 62657-1:2017

Gesamtumfang 62 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2017-07-24 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2018-05-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 62657-1:2016-05.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 956 „Industrielle Kommunikation“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 65C „Industrial networks“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Industrielle Kommunikationsnetze –
Funk-Kommunikationsnetze –
Teil 1: Anforderungen und Überlegungen zur Frequenznutzung
(IEC 62657-1:2017)

Industrial communication networks –
Wireless communication networks –
Part 1: Wireless communication requirements and
spectrum considerations
(IEC 62657-1:2017)

Réseaux de communication industriels –
Réseaux de communication sans fil –
Partie 1: Exigences de communication sans fil
et considérations relatives au spectre
(IEC 62657-1:2017)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2017-07-24 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2017 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 62657-1:2017 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 65C/874/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 62657-1, erarbeitet vom SC 65C „Industrial networks“ des IEC/TC 65 „Industrial-process measurement, control and automation“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 62657-1:2017 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2018-04-27
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2020-10-27

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 62657-1:2017 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 61784-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61784-1.
IEC 62479:2010	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62479:2010 (modifiziert).
IEC 62591	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62591.
IEC 62601	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62601.
IEC 62734	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62734.
IEC 60079-0	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60079-0.
IEC 60079-11	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60079-11.
IEC 60079-25	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60079-25.
ISO/IEC 80079-34:2011	ANMERKUNG	Harmonisiert als ISO/IEC 80079-34:2011 (modifiziert).
IEC 61508	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 61508.
IEC 61804-3	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61804-3.
IEC 62443	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 62443.
IEC 62453	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 62453.
IEC 62714	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 62714.
IEC 62769	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 62769.
IEC 62952	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 62952.

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe, Abkürzungen und Akronyme	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Abkürzungen und Akronyme	10
4 Anforderungen an die Funkkommunikation in der industriellen Automatisierung – Betrachtungen für Regulierungsbehörden	11
4.1 Weltweit harmonisierte Nutzung von Frequenzen	11
4.2 Koexistenzmanagementprozess (siehe IEC 62657-2)	11
4.3 Konzepte für die Nutzung des Spektrums in industriellen Funkanwendungen	12
4.3.1 Allgemeines	12
4.3.2 Geeignetes verfügbares Spektrum für industrielle Funkanwendungen	13
4.3.3 Zugeteiltes Spektrum	15
4.3.4 Andere Konzepte	15
4.4 Marktrelevanz und Anforderungen	18
4.4.1 Allgemeines	18
4.4.2 Marktposition von Industrieeinrichtungen	18
4.4.3 Kosten-Nutzen-Aspekte und Vorteile in der Anwendung	20
4.5 Soziale, gesundheitliche und umweltbezogene Aspekte	21
4.5.1 Allgemeines	21
4.5.2 Soziale, gesundheitliche und umweltbezogene Betrachtungen	21
4.5.3 Gesundheitliche Aspekte	24
4.5.4 Andere Bedenken	25
5 Anforderungen an die Funkkommunikation in der industriellen Automatisierung – Betrachtungen für Automatisierungsexperten	25
5.1 Einsatz von Funkkommunikationsnetzen in der industriellen Automatisierung	25
5.1.1 Allgemeines	25
5.1.2 Grundlegende Unterschiede zwischen drahtlosen und drahtgebundenen Kommunikationsnetzen	26
5.1.3 Kommunikationsnetze in der industriellen Automatisierung	28
5.1.4 Anwendungsgebiete	30
5.2 Anforderungen an Anwendungen der industriellen Automatisierung (Anwendungsfälle)	31
5.2.1 Allgemeines	31
5.2.2 Anwendungsfall 1 – Sicherheit von Mitarbeitern in der Nähe von Transportmaschinen	31
5.2.3 Anwendungsfall 2 – Füllstandsüberwachung und Alarmierung in einem Tanklager	32
5.2.4 Anwendungsfall 3 – Unterstützung von Außendienstmitarbeitern durch mobile Funkeinrichtungen	33

	Seite
5.2.5 Anwendungsfall 4 – Vibrationsüberwachung und Analyse bei rotierenden Maschinen.....	34
5.2.6 Anwendungsfall 5 – Überwachung und Steuerung von Öl-Bohrlochköpfen	34
5.2.7 Anwendungsfall 6 – Einige Anwendungen der Fertigungsautomatisierung mit einer großen Anzahl von Knoten	35
5.3 Anforderungen an Funkkommunikationsnetze.....	35
5.3.1 Zeitsteuerung und Echtzeit.....	35
5.3.2 Bandbreite und Bitrate.....	46
5.3.3 Funkausbreitungsbedingungen, Netzabdeckung und Umfang des Netzes	47
5.3.4 Energieverbrauch	48
5.3.5 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	49
5.3.6 Funktionale Sicherheit.....	50
5.3.7 Eigensicherheit.....	51
5.3.8 Sicherheit.....	52
5.3.9 Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit	53
5.4 Anforderungen an den Lebenszyklus	55
5.5 Integration eines Funkkommunikationssystems in Automatisierungsanwendungen	55
5.6 Netzinformationen und Statistiken.....	56
Literaturhinweise.....	57
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	60
Bilder	
Bild 1 – Einnahmen des Endproduzenten	18
Bild 2 – Typische Risikominderungsmaßnahmen in Prozessanlagen.....	22
Bild 3 – Funkkommunikationssystem im Kontext der Automatisierungspyramide	29
Bild 4 – Beispiel einer graphischen Darstellung einheitlicher Kennzahlen.....	37
Bild 5 – Allgemeines Systemmodell für die Festlegung von Anforderungen an die Kommunikationsleistung von Anwendungen.....	37
Bild 6 – Modell für Funkautomatisierungsgeräte für die Festlegung von Anforderungen an die Kommunikationsleistung von Anwendungen.....	38
Bild 7 – Kommunikationsverbindung mit Funkautomatisierungsgeräten mit Feldbus-Schnittstellen	39
Bild 8 – Kommunikationsverbindung mit einem Funkautomatisierungsgerät mit E/A-Prozessschnittstelle und einem Funkautomatisierungsgerät mit Feldbus-Schnittstellen	39
Bild 9 – Zeitfragmente der Übertragungszeit.....	40
Bild 10 – Beispiel für Dichtefunktionen der Übertragungszeit	41
Bild 11 – Zeitfragmente der Aktualisierungszeit	42
Bild 12 – Beispiel für die Dichtefunktionen der Aktualisierungszeit.....	43
Tabellen	
Tabelle 1 – Beispiel für Klassifizierung der Kommunikationsanforderungen der Anwendung	19
Tabelle 2 – Struktur der in den Anwendungsbereichen verwendeten Kommunikationsnetze	26
Tabelle 3 – Vorteile des Einsatzes von Funksystemen.....	27
Tabelle 4 – Beispiele für Toleranzzeiten von Anwendungen	54

Einleitung

Dieses Dokument enthält allgemeine Anforderungen an die industrielle Automatisierung und Betrachtungen des Spektrums, die als Grundlage für industrielle Kommunikationslösungen dienen. Dieses Dokument soll die Harmonisierung zukünftiger Anpassungen an internationale, nationale, regionale und lokale Vorschriften vereinfachen.

IEC 62657-2 beschreibt das Konzept und den Prozess des Koexistenzmanagements. Auf der Grundlage des Koexistenzmanagementprozesses kann für ein bestimmtes Spektrum mit entsprechenden Anwendungsanforderungen eine vorhersehbare Gewissheit der Koexistenz erreicht werden.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62657 enthält die von den Anwendungen der Funkkommunikationssysteme in der industriellen Automatisierung vorgegebenen Anforderungen an die Funkkommunikation sowie damit im Zusammenhang stehende Anforderungen. Diese Anforderungen gelten unabhängig von der eingesetzten Funktechnologie. Sie sind detailliert und auf einfache Weise beschrieben, so dass sie von einem breiten Publikum verstanden werden können, einschließlich Lesern, die mit den Industrieanwendungen nicht vertraut sind.

Es werden soziale, ökologische und gesundheitliche Aspekte sowie Marktvoraussetzungen für Funkkommunikationssysteme in der industriellen Automatisierung beschrieben, um die Anforderungen an die Funkkommunikation zu begründen.

Dieses Dokument enthält außerdem eine Argumentationshilfe für die kurzfristigen und langfristigen Lösungen, die für die Erfüllung der Anforderungen an die Funkkommunikation vorgeschlagen werden. Das Koexistenzmanagement nach IEC 62657-2 wird bereits bei den kurzfristigen Lösungen angewendet.

Die in diesem Dokument beschriebenen Anforderungen an die Anwendungen der industriellen Automatisierung können dafür verwendet werden, die Zuteilung zusätzlichen, weltweit eindeutigen Spektrums zu beantragen. Dieses zusätzliche Spektrum ist für die Nutzung zusätzlicher Funkanwendungen vorgesehen, während die aktuellen ISM-Bänder (en: industrial, scientific and medical) weiter genutzt werden.

Das vorliegende Dokument stellt nützliche Informationen für Fachleute aus der Automatisierungsbranche bereit, die mit den Spektrums- und Funktechnologien nicht vertraut sind.

Die Gebäudeautomation liegt aufgrund der verschiedenen Nutzungsbeschränkungen außerhalb des Anwendungsbereiches dieser Norm (bei den meisten nicht industriellen Gebäuden ist es für den Besitzer/Betreiber in der Regel schwierig, die Verfügbarkeit und den Betrieb von Funkeinrichtungen zu steuern).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*

IEC 60079-10-2, *Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Explosive dust atmospheres*

IEC 61511 (alle Teile), *Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector*

IEC 61784-2, *Industrial communication networks – Profiles – Part 2: Additional fieldbus profiles for real-time networks based on ISO/IEC 8802-3*

IEC 61784-3, *Industrial communication networks – Profiles – Part 3: Functional safety fieldbuses – General rules and profile definitions*

IEC 62657-2:–¹⁾, *Industrial communication networks – Wireless communication networks – Part 2: Coexistence management*

ETSI TR 102 889-2 V.1.1.1 (2011), *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); System Reference Document; Short Range Devices (SRD); Part 2: Technical characteristics for SRD equipment for wireless industrial applications using technologies different from Ultra-Wide Band (UWB)*

¹⁾ In Vorbereitung. Phase zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: IEC FDIS 62657-2:2017.

ETSI EN 300 328 V2.1.1 (2016), *Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using wide band modulation techniques; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU*

3 Begriffe, Abkürzungen und Akronyme

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 62657-2 und die folgenden Begriffe.

3.1.1

Automatisierungsanwendung

Anwendung der Mess- und Automatisierungstechnik in den Automatisierungsbranchen

3.1.2

Verfügbarkeit

<Leistungsfähigkeit>

Fähigkeit einer Einheit, zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitintervalls eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen erfüllen zu können, vorausgesetzt, dass die erforderlichen äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Fähigkeit hängt von den zusammenwirkenden Aspekten der Funktionsfähigkeit, der Instandhaltbarkeit und der Instandhaltungsbereitschaft ab.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die erforderlichen äußeren Hilfsmittel – mit Ausnahme der Hilfsmittel zur Instandhaltung – haben keinen Einfluss auf die Verfügbarkeitsleistung der Einheit.

[QUELLE: IEC 60050-191:1990, 191-02-05]

3.1.3

Koexistenz

Koexistenz der Funkkommunikation

Zustand, in dem alle Funkkommunikationslösungen einer Anlage, die ein gemeinsames Medium nutzen, alle Kommunikationsanforderungen ihrer Anwendung erfüllen

Anmerkung 1 zum Begriff: In IEEE 802.15.2-2003 [17]²⁾ wird „Koexistenz“ als Eigenschaft eines Gerätes definiert.

[QUELLE: IEC 62657-2:–, 3.1.13]

3.1.4

Koexistenzmanagement

Prozess zur Herstellung und Erhaltung von Koexistenz mit Hilfe von technischen und organisatorischen Maßnahmen

[QUELLE: IEC 62657-2: –, 3.1.15]

3.1.5

kognitives Funksystem

Funksystem, das eine Technologie einsetzt, mit der das System Informationen über seine betriebliche und geographische Umgebung, geltende Richtlinien und seinen internen Zustand abrufen kann; mit der es seine Betriebsparameter und Protokolle entsprechend dem erworbenen Wissen dynamisch und eigenständig anpassen kann, um vordefinierte Ziele zu erreichen; und mit der es aus den resultierenden Ergebnissen lernen kann

[QUELLE: ITU-R SM.2152:2009] [8]

²⁾ Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

3.1.6

Conduit

logische Gruppierung von Kommunikationsschutzobjekten, die für die Sicherheit der enthaltenen Kanäle sorgt

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Conduit gleicht einer physikalischen Leitung, die Kabel vor physikalischer Beschädigung schützt [siehe IEC 62443 (alle Teile)].

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein USB-Port ist ein Conduit; ein USB-Gerät dagegen (z. B. ein Speicherstick) wird als Schutzobjekt angesehen.

3.1.7

Ethernet

Kommunikationssystem nach ISO/IEC/IEEE 8802-3 und IEEE 802.1D

3.1.8

Fertigungsautomatisierung

Automatisierungsanwendung in der industriellen Automatisierungsbranche mit typischerweise veränderlichen Merkmalen der zu automatisierenden Anwendung und mit spezifischen Anforderungen an Zufallsunabhängigkeit, geringe Latenzzeit, Zuverlässigkeit, Redundanz, Netzsicherheit und funktionale Sicherheit

Anmerkung 1 zum Begriff Eine geringe Latenzzeit liegt in der Regel unterhalb von 10 ms Übertragungszeit.

3.1.9

Anlage

organisierte Einrichtung von physikalisch abgegrenztem Umfang, die den physikalischen Prozess, den Betrieb, das Personal und die Betriebsmittel einschließt

[QUELLE: IEC 62657-2:–, 3.1.58]

3.1.10

Prozessautomatisierung

Automatisierungsanwendung in der industriellen Automatisierungsbranche mit typischerweise gleichbleibenden Merkmalen der zu automatisierenden Anwendung und mit spezifischen Anforderungen an die Zufallsunabhängigkeit, Zuverlässigkeit, Redundanz, Netzsicherheit und funktionale Sicherheit

3.1.11

rekonfigurierbares Funksystem

RRS

Funksystem, das softwaredefinierten Funk und/oder kognitiven Funk umfasst

[QUELLE: ETSI TR 102 945 V1.1.1 (2013-06)]

3.1.12

Zuverlässigkeit

Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion während eines gegebenen Zeitintervalls unter gegebenen Bedingungen zu erfüllen

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Allgemeinen wird angenommen, dass die Einheit zu Beginn des Zeitintervalls in der Lage ist, diese geforderte Funktion zu erfüllen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Benennung „Zuverlässigkeit“ wird auch als Maß für die Zuverlässigkeitsleistung verwendet (siehe IEC 60050-191:1990, 191-12-01).

[QUELLE: IEC 60050-191:1990, 191-02-06, modifiziert – Anmerkung 2 zum Begriff wurde geändert.]

3.1.13

gemeinsam genutztes Medium

Ressource des Frequenzbands, die in einem bestimmten Bereich von mehreren Funkanwendungen genutzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: In den ISM-Bändern (en: industrial, scientific and medical) werden viele Funkanwendungen genutzt. Aufgrund dieser allgemeinen Nutzung wird der Begriff „gemeinsam genutztes Medium“ in diesem Dokument angewendet. Die Frequenzbänder werden von verschiedenartigen ISM- und Funkanwendungen benutzt.

[QUELLE: IEC 62657-2:–, 3.1.77]

3.1.14

softwaredefinierter Funk

Funksender und/oder -empfänger, der eine Technologie einsetzt, bei der die Betriebsparameter einer Funkfrequenz, einschließlich des Frequenzbereichs, der Modulationsart und der Ausgabeleistung mithilfe von Software festgelegt oder verändert werden können; ausgenommen sind Änderungen an Betriebsparametern, die während des normalen, vorinstallierten und vorherbestimmten Betriebs eines Funks nach einer Systemspezifikation oder einer Norm auftreten

[QUELLE: ITU-R SM.2152:2009] [8]

3.1.15

Telekommunikation

jegliche Übertragung, Aussendung oder Empfang von Zeichen, Signalen, Schreiben, Bildern, Geräuschen oder Informationen jeglicher Art über Kabel, Funk, optische oder sonstige elektromagnetische Systeme

[QUELLE: Vollzugsordnung für den Funkdienst (Radio Regulations, 2012) – Art. 1 § 1.3]

3.1.16

Störsenke

Gerät, das durch die Abstrahlung von Funkfrequenzen von anderen Geräten oder Einrichtungen gestört wird

3.1.17

Funkanwendung

Verwendung elektromagnetischer Wellen von Geräten oder Betriebsmitteln zur Erzeugung und Nutzung von Hochfrequenzenergie

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Definition schließt Betriebsmittel zur Funkerkennung mit ein.

[QUELLE: IEC 62657-2:–, 3.1.93]

3.1.18

Funkkommunikation

Kommunikation, bei der die Übertragung von Informationen durch elektromagnetische Strahlung erfolgt, ohne dass dazu Kabel oder Lichtwellenleiter verwendet werden

[QUELLE: IEC 62657-2:–, 3.1.94]

3.1.19

Funklösung

Funkkommunikationslösung

bestimmte Implementierung oder Instanz eines Funkkommunikationssystems

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Funkkommunikationslösung darf aus Produkten eines oder mehrerer Hersteller bestehen.

[QUELLE: IEC 62657-2:–, 3.1.100]

3.1.20

Funksystem

Funkkommunikationssystem

Menge zusammenhängender Elemente, die eine Funkkommunikation ermöglichen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Funkkommunikationssystem ist die Abbildung eines Systems auf einer hohen Ebene, während eine Funkkommunikationslösung einen praktischen Fall eines Systems darstellt. Ein Funkkommunikationssystem kann ein oder mehrere Funkkommunikationsnetze beinhalten.

[QUELLE: IEC 62657-2:–, 3.1.101]

3.2 Abkürzungen und Akronyme

FTF	fahrerloses Transportfahrzeug
BPCS	Betriebs- und Überwachungseinrichtungen (en: basic process control system)
CCP	zentraler Koordinierungspunkt (en: central coordination point)
CO ₂	Kohlendioxid
DAA	Feststellung und Vermeidung bereits benutzter Frequenzen (en: detect and avoid)
DCS	Prozessleitsystem (en: distributed control system)
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DSL	Digital Subscriber Line
EU-Kommission	Europäische Kommission
EDGE	Enhanced Data GSM Environment
EIRP	äquivalente isotrope Strahlungsleistung (en: equivalent isotropic radiated power)
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit
EMI	elektromagnetische Störung (en: electromagnetic interference)
EMS	elektromagnetische Störempfindlichkeit
FIFO	First-In-First-Out-Speicher
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
ID	Identifikation
IEA	Internationale Energieagentur
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	industriell, wissenschaftlich und medizinisch (en: industrial, scientific and medical)
LAN	lokales Netz (en: local area network)
LBT	erst lauschen, dann senden (en: listen before talk)
LOS	Sichtverbindung (en: line of sight)
LTE	Long Term Evolution
NLOS	ohne Sichtverbindung (en: non-line-of-sight)
OLOS	blockierte Sichtverbindung (en: obstructed line of sight)
PC	Personal Computer
PPE	persönliche Schutzausrüstung
HF	Hochfrequenz
RRS	rekonfigurierbares Funksystem (en: reconfigurable radio system)
SDR	softwaredefinierter Funk (en: software defined radio)
SIL	Sicherheits-Integritätslevel
SIS	sicherheitstechnisches System (en: safety instrumented system)

SOP	Standardarbeitsanweisungen (en: standard operating procedures)
SRD	Kurzstreckenfunkgeräte (en: short range devices)
TDMA	Mehrfachzugriffsverfahren auf Zeitmultiplexbasis (en: time division multiple access)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USB	universeller serieller Bus
WIA-PA	Wireless Network for Industrial Automation – Process Automation
WLAN	lokales Funknetz (en: wireless local area network)
WRT	Echtzeitfunk (en: wireless real-time)

4 Anforderungen an die Funkkommunikation in der industriellen Automatisierung – Betrachtungen für Regulierungsbehörden

4.1 Weltweit harmonisierte Nutzung von Frequenzen

Einer der Gründe für die weltweite Harmonisierung der Nutzung von Frequenzen durch Funkgeräte liegt darin, dass Funkgeräte vor ihrer tatsächlichen Verwendung schrittweise in größere Elemente integriert werden (in ein Produkt, dann in eine Maschine, dann in ein Werk), so dass der endgültige geographische Standort des Funkgerätes nicht unbedingt bekannt ist. Die Regelung der Nutzung von Frequenzbändern erfolgt auf nationaler Ebene und wurde weltweit noch nicht harmonisiert. Selbst für die Nutzung des ISM-Bandes (2,4 GHz) sind unter Umständen nationale Gerätezulassungen oder Lizenzen erforderlich. Des Weiteren könnte in einigen Ländern verlangt werden, die Genehmigung für den Betrieb eines Funknetzes einzuholen oder im Vorfeld Einzelheiten zu einem solchen Netz zu veröffentlichen. Gelegentlich gibt es lokale Nutzungsbeschränkungen in Bezug auf die maximale Sendeleistung, die über internationalen oder regionalen Standards liegen, oder eine Beschränkung des Betriebs in Innen- oder Außenbereichen. Beim Export von Funksystemen ist es deshalb wichtig, im Vorfeld abzuklären, ob und unter welchen Bedingungen die betreffenden Geräte im entsprechenden Land betrieben werden dürfen.

ANMERKUNG Üblicherweise sind derartige Informationen in der Gerätedokumentation enthalten.

4.2 Koexistenzmanagementprozess (siehe IEC 62657-2)

In industriellen Automatisierungsanwendungen kommen standardmäßige Netzlösungen mit spezifischen Leistungsmerkmalen (wie z. B. Zeitkritikalität, Sicherheit und Schutz) zum Einsatz. Die für die industrielle Automatisierung relevanten spezifischen Leistungsmerkmale sind in Abschnitt 5 beschrieben.

Der Markt für Funknetzlösungen bietet eine Reihe verschiedenster Anwendungen mit unterschiedlichen Leistungs- und Funktionsanforderungen an. Auf diesem Markt gehören unter anderem folgende Bereiche zur industriellen Automatisierung:

- Prozessautomatisierung, die z. B. die folgenden Branchen umfasst:
 - Öl & Gas, Raffinerie,
 - Chemie,
 - Pharmazie,
 - Bergbau,
 - Zellstoff und Papier,
 - Wasser und Abwasser,
 - Stahl;
- Elektroenergie wie:
 - Energieerzeugung (z. B. Windkraftanlagen),
 - Energieübertragung und -verteilung (Netz);

- Fertigungsautomatisierung, die z. B. die folgenden Branchen umfasst:
 - Lebensmittel und Getränke,
 - Automobilindustrie,
 - Maschinenindustrie,
 - Halbleiterherstellung.

In der heutigen industriellen Automatisierung werden sowohl drahtgebundene als auch drahtlose Netze verwendet. Beispiele für diese drahtlosen Netze sind Netze nach IEC 62591 (*WirelessHART*®³⁾), IEC 62601 (WIA-PA) und IEC 62734 (ISA100.11a), die alle nach IEEE 802.15.4 für Prozessanwendungen arbeiten. Weitere Beispiele für Funknetze sind die in IEC 61784-1 und IEC 61784-2 festgelegten Kommunikationsprofile, die nach IEEE 802.11 und IEEE 802.15.1 für Fertigungsautomatisierungsanwendungen arbeiten. Im Gegensatz zu einzeln angeschlossenen Netzen nutzen Funknetze ein gemeinsames Medium und können sich daher gegenseitig stören. Aus diesem Grund ist das Betreiben mehrerer Funknetze innerhalb derselben Einrichtung ohne eine vorhersehbare Gewissheit von Koexistenz unter Umständen problematisch und führt zu inakzeptablen Störungen und somit zur Nichteinhaltung zeitkritischer und sicherheitsbezogener Anforderungen.

In der Regel befindet sich eine Anlage auf einem eingezäunten Gelände und die Einrichtungen der Anlage werden vom Anlagenmanagement verwaltet, welches möglicherweise einen Koexistenzmanagementprozess für alle Funknetze der Anlage implementiert hat.

Automatisierungsanwendungen sind auch in Industrieumgebungen mit höherer elektromagnetischer Störung (EMI) als in nicht industriellen Bereichen anzutreffen. Einen weiteren Einfluss haben gestrahlte elektromagnetische Störungen. Regionale Vorschriften erlauben für bestimmte Funkanwendungen im nicht lizenzierten Spektrum möglicherweise eine hohe Strahlungsleistung, die in der Nähe eines Funksystems eine hohe Feldstärke erzeugen kann.

In einigen Fällen ist der Besitzer/Betreiber möglicherweise nicht in der Lage, die vorhandenen Einrichtungen zu steuern, oder er entscheidet sich gegen eine Steuerung. IEC 62657-2 kann auch hilfreich sein, um die sich daraus ergebenden Leistungsbeschränkungen zu ermitteln.

Der Koexistenzmanagementprozess spiegelt die Aktivitäten des Koexistenzmanagementsystems wider. Der Koexistenzmanagementprozess umfasst technische und organisatorische Aktivitäten, die dazu dienen, den Zustand der Koexistenz aller Funklösungen in einer Anlage herzustellen und aufrechtzuerhalten. Die Koexistenzparameter, welche in IEC 62657-2:–, Abschnitt 5, festgelegt und wie in IEC 62657-2:–, Abschnitt 6, beschrieben bereitgestellt sind, werden in verschiedenen Phasen des Koexistenzmanagementprozesses verwendet. Der Koexistenzmanagementprozess umfasst die folgenden Phasen:

- Untersuchungsphase (siehe IEC 62657-2:–, 7.4.1);
- Planungsphase (siehe IEC 62657-2:–, 7.4.2);
- Einführungsphase (siehe IEC 62657-2:–, 7.4.3);
- Betriebsphase (siehe IEC 62657-2:–, 7.4.4).

4.3 Konzepte für die Nutzung des Spektrums in industriellen Funkanwendungen

4.3.1 Allgemeines

Dieses Dokument behandelt die folgenden Konzepte sowie die sich daraus ergebenden Anforderungen für die Nutzung des Spektrums in industriellen Funkanwendungen:

³⁾ *WirelessHART*® ist das Warenzeichen des Produktes, geliefert von FieldComm Group™. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch IEC. Gleichwertige Produkte dürfen verwendet werden, wenn sie nachweisbar zu den gleichen Ergebnissen führen.

- Nutzung eines geeigneten verfügbaren Spektrums für industrielle Funkanwendungen, siehe 4.3.2;
- zugeteiltes Spektrum für industrielle Funkanwendungen, siehe 4.3.3;
- andere Konzepte, siehe 4.3.4.

ANMERKUNG Die Reihenfolge der Konzepte stellt keine Rangfolge oder Priorisierung dar.

Zusätzlich zum Koexistenzmanagement werden die anderen Konzepte in der Praxis möglicherweise kombiniert angewendet.

4.3.2 Geeignetes verfügbares Spektrum für industrielle Funkanwendungen

Um all die verschiedenen betriebsbezogenen Anforderungen an industrielle Funkanwendungen zu erfüllen, werden mehrere Frequenzbänder benötigt. Der gleichzeitige Betrieb in parallelen Frequenzbändern verbessert die Verfügbarkeit der Funkkommunikation. Die Netzabdeckung hängt von dem ausgewählten Frequenzband ab.

ANMERKUNG Niedrige Frequenzen weisen eine höhere Netzabdeckung auf als höhere Frequenzen.

Während unkritische Funkverbindungen vorhandenes Spektrum nutzen könnten und damit bestehende Regeln und Normen einhalten würden, müssen für die anspruchsvollen/kritischen Funkverbindungen in Industrieanwendungen neue Frequenzen (außerhalb von 2,4 GHz und anderen lizenzfreien Bändern) festgelegt werden. Dieses neue Spektrum sollte vorzugsweise in der Nähe von Bändern oder angrenzend an Bänder liegen, die bereits global verfügbar sind und für die bereits industrielle Funktechnologien entwickelt wurden.

Um den spezifischen Anforderungen an industrielle Funkanwendungen gerecht zu werden, wurden die folgenden Voraussetzungen und Empfehlungen festgelegt.

- Es müssen Funktechnologien eingesetzt werden, die in einer dynamischen Mehrwegumgebung robust sind.
- Es müssen entweder global verfügbare Frequenzbänder oder an derartige Bänder angrenzende Frequenzbänder genutzt werden, damit ähnliche Technologien mit sich minimal unterscheidenden Betriebsfrequenzen einfacher angewendet werden können.
- Frequenzbänder sollten oberhalb 1,4 GHz liegen, wenn Störungen durch Schweißmaschinen vermieden werden sollen, und unterhalb 6 GHz liegen, um das quasi-optische Ausbreitungsverhalten oberhalb dieses Wertes zu umgehen und der Anforderung der Kommunikation ohne Sichtverbindung und der gleichen Stromeffizienz wie für batteriebetriebene Geräte gerecht zu werden.

Bestehende industrielle Funkkommunikationslösungen nutzen Frequenzen wie z. B. 920 MHz (EU, USA, Japan, Korea usw.), 1 880 MHz bis 1 900 MHz (DECT), das ISM-Band mit 2,4 GHz oder die WLAN-Bänder mit 5 GHz.

Derzeit nutzen Anwendungen der industriellen Automatisierung das vorhandene Spektrum, das allgemeinen SRDs zugeteilt ist. Das 2,4-GHz-Band ist ein häufig genutztes Band, dessen Nutzung in den einzelnen Ländern geregelt ist.

Zum Beispiel in Europa können Geräte mit einer EIRP von weniger als 10 mW uneingeschränkt ohne Minderungstechniken verwendet werden. Diese Geräte müssen mit ETSI EN 300 440-1 [12] und ETSI EN 300 440-2 [13] konform sein, während Geräte mit einer EIRP zwischen 10 mW und 100 mW nur mit Einschränkungen verwendet werden dürfen. Derartige Geräte müssen ETSI EN 300 328 und ERC/REC 70-03 [10] einhalten. Die in ETSI EN 300 328 genannten Einschränkungen verlangen:

- einen Mechanismus für die automatische gemeinsame Mediennutzung, der die Anwendung von LBT (en: listen before talk) erfordert, oder
- einen Mediennutzungsfaktor oder
- einen DAA-Mechanismus (en: detect and avoid), der auch als „Listen after Talk“ (nach dem Senden lauschen) bezeichnet wird.

Diese Einschränkungen sind mit den Anforderungen industrieller Funkverbindungen nicht vereinbar.

Die Kommunikationsarchitektur von industriellen Funkanwendungen muss immer auch Sicherheitsmechanismen umfassen, die den industriellen Nutzer vor Angriffen schützen. Allgegenwärtige Aktionspläne (sogenannte Sicherheitsmodi) berücksichtigen auch beabsichtigte und unbeabsichtigte Störungen durch Dritte, wie z. B. Störsendungen. Dazu kann das Wechseln auf andere Frequenzen gehören. Es gibt Normen zur Netzsicherheit für Industrieanwendungen, wie z. B. IEC 62443 (alle Teile).

Wenn mehrere unkoordinierte Nutzer einen einzigen allgemeinen Funkstandard nutzen, treten normalerweise keine gegenseitigen Störungen auf. Wenn beispielsweise separate Nutzergruppen in demselben Bereich jeweils Funknetze nach IEEE 802.11 [15] errichten, können diese durch die Einhaltung von IEEE 802.11 bis zu einem gewissen Grad nebeneinander existieren. Die in einigen anderen Normen enthaltenen Vorschriften, z. B. für Bluetooth®⁴⁾, umfassen möglicherweise auch Maßnahmen, die eine grundlegende Koexistenz bestimmter unterschiedlicher Standards vereinfachen. Diese grundlegende Koexistenz wird industriellen Anforderungen jedoch nicht gerecht, da die deterministische und verwaltete gemeinsame Nutzung der entsprechenden Funkressource nicht sichergestellt ist. Im industriellen Kontext, in dem viele verschiedene Funknetze gleichzeitig Leistungsanforderungen gerecht werden und unterschiedliche Prioritätsstufen erfüllt werden müssen, stellt ein Koexistenzmanagement nach IEC 62557-2 eine vorherbestimmte und gleichberechtigte Nutzung sicher.

BEISPIEL Ein Beispiel für eine Lösung ist der Einsatz einer Technologie zur taktisch synchronisierten Zuweisung von Slots, der sogenannten TDMA-Technologie – einem Mehrfachzugriffsverfahren auf Zeitmultiplexbasis –, in Kombination mit einem Netzwerkmanagement-Werkzeug in einem Zugangspunkt (Gateway), das die zulässigen Slots für die Übertragung von Daten zuweist. Dies kann mehreren tausend Geräten den Betrieb in einem Maschennetz über mehrere Jahre ohne jegliche Kollision untereinander ermöglichen.

Für unkritische Funkverbindungen können die vorhandenen nicht lizenzierten Bänder, wie z. B. ISM, genutzt werden, wobei nationale und regionale Vorschriften eingehalten werden müssen. Der Betrieb in einigen der lizenzfreien Bänder unterliegt der Anwendung bestimmter Minderungstechniken, wie von der entsprechenden Vorschrift/Norm gefordert. Diese Minderungstechniken wären auf alle SRDs anzuwenden, einschließlich der für industrielle Anwendungen eingesetzten Geräte, da bereits eine Vielzahl von SRD-Anwendungen in der industriellen Umgebung vorhanden sein könnte.

In Frequenzbändern, in denen die industriellen Automatisierungsgeräte nicht die primären Nutzer oder Nutzer mit der gleichen Priorität sind, müssen diese Geräte Minderungstechniken unterstützen. Zu diesen Techniken können gehören:

- Leistungssteuerung:
 - die Leistung ist auf einen Wert zu reduzieren, bei dem der Störpegel unterhalb des geforderten Grenzwertes liegt (Schutzzone);
 - es wird empfohlen, nicht mehr Leistung zu erzeugen, als für den vorgesehenen Empfänger nötig ist (Regelung der Sendeleistung);
- gemeinsame Nutzung auf Basis von Zeitsynchronisation;
- Frequenzwahl;
- LBT, DAA;
- zentraler Koordinierungspunkt (CCP);
- angewendete Minderungstechnik bzw. angewendetes Verfahren zur gemeinsamen Nutzung in dem Bereich, den andere nutzen, um den primären Nutzer zu ermitteln.

⁴⁾ Bluetooth® ist das Warenzeichen des Produktes, geliefert von Bluetooth Special Interest Group. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch IEC. Gleichwertige Produkte dürfen verwendet werden, wenn sie nachweisbar zu den gleichen Ergebnissen führen.

4.3.3 Zugeteiltes Spektrum

4.3.3.1 Kritische Funkverbindungen in industriellen Anwendungen

Einige industrielle Anwendungen erfordern ein streng deterministisches Verhalten der Funkkommunikationsverbindungen. Die Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Vorhersehbarkeit, Immunität und Qualität industrieller Funkeinrichtungen sind nicht mit den Merkmalen vieler anderer Kurzstreckenfunk-Anwendungen vergleichbar. Deshalb ist die kurzfristige Lösung, die auf Koexistenzmanagement und dem für die breite Masse an SRD-Anwendungen üblicherweise genutzten Spektrum beruht, für diese industriellen Anwendungen möglicherweise nicht geeignet. Koexistenzmanagement sollte langfristig um ein zusätzlich zugeteiltes, weltweit eindeutiges Spektrum ergänzt werden.

Die geforderten Frequenzbänder sollen nicht der allgemeinen, lizenzfreien Nutzung dienen, sondern sollten auf bestimmte spezifische Anwendungen begrenzt bleiben.

Das vorliegende Dokument unterstreicht die Notwendigkeit der Zuteilung eines neuen Spektrums, das die folgenden Anforderungen erfüllt:

- Den für industrielle Anwendungen benötigten kritischen Funkverbindungen sollte in Bezug auf die Zuteilung von Spektrum eine gewisse Priorität zugewiesen werden.
- Das angeforderte Band sollte für diese industriellen Anwendungen spezifisch sein und nicht mit den vorhandenen lizenzfreien Bändern überlappen.
- Bei weltweiter Nutzung hätte dieses neue Band den größten Nutzen.

Sobald das neue Spektrum zugeteilt wurde, muss eine harmonisierte Norm für diese kritischen Funkverbindungen in industriellen Anwendungen erarbeitet werden.

4.3.3.2 Vorgeschlagene Frequenzbänder

Die Anforderung des Einsatzes von Funksystemen in einem Bereich, in dem elektromagnetische Strahlung auftritt, verlangt ein Spektrum oberhalb 1,4 GHz. Um die Anforderungen der Kommunikation ohne Sichtverbindung und der Leistungseffizienz zu erfüllen, muss das geforderte Spektrum unterhalb 6 GHz liegen (siehe auch 4.3.2 und 5.3.2).

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments gibt es keine spezifische Regelung für industrielle Anwendungen. Die aktuell auf dem Markt verfügbaren industriellen Funkanwendungen nutzen das vorhandene Spektrum, das generischen Geräten oder einigen spezifischen Kurzstreckenfunkgeräten zugeteilt ist, und liegen deshalb im Anwendungsbereich bestehender Regelungen.

BEISPIEL Die Anhänge von ERC/REC 70-03 [10].

Leider können die Anforderungen an kritische Funkverbindungen in industriellen Anwendungen nicht erfüllt werden, wenn für diese Verbindungen derartige lizenzfreie Bänder genutzt werden; deshalb ist die zeitnahe Zuteilung eines exklusiven Spektrums (eines spezifischen lizenzfreien Bands) für industrielle Funkanwendungen erforderlich.

4.3.4 Andere Konzepte

4.3.4.1 Lizenzierung für Ortsbestimmung

Die hohe Einsatzdichte von Funklösungen erfordert deren Begrenzung auf gut definierte Bereiche (Gebäude, Anlage, Räumlichkeiten des Nutzers usw.); deshalb ist es sinnvoll, Standortinformationen als zusätzlichen Parameter in die Zugangsregeln eines Funkgerätes für das gemeinsam genutzte Medium einzubeziehen. Das Ziel ist es, Kommunikationskosten zu vermeiden und gleichzeitig mögliche Störempfänger zu schützen. Störempfänger müssen auf eine Weise geschützt werden, die sicherstellt, dass sie keine Verschlechterung ihres Dienstes durch andere Geräte erfahren.

Die Berücksichtigung von Standortinformationen entspricht auch der ITU-Definition des Spektrumnutzungsfaktors in ITU-R SM.1046-2 [9], welcher das Produkt aus Frequenzbandbreite, geometrischem (geographischem) Raum und Zeit ist.

Die Beeinträchtigung eines Störempfängers tritt nur dann auf, wenn drei Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind: Es wird derselbe Standort (eine konstante, begrenzte EIRP angenommen), dieselbe Zeit und dieselbe Frequenz genutzt.

Deshalb wird vorgeschlagen, den geographischen Standort des Gerätes bei der Steuerung seiner Sendemerkmale zu berücksichtigen. In einem nicht viel genutzten Bereich oder in Privateigentum (in dem die Funkumgebung gut verwaltet werden kann) sollte eine Lizenz für ein spezifisches Band bei der entsprechenden nationalen Regulierungsbehörde erhalten werden können.

Es stehen mehrere Verfahren zur Verfügung, mit denen ein Gerät Informationen über seinen aktuellen geographischen Standort abrufen kann, von einfachen bis hin zu anspruchsvollen Lösungen. Aufgrund der Diskussion über kognitive Funkssysteme erfährt diese Domäne aktuell weiteren Fortschritt und weiteres Interesse.

Ein erster und einfacher Ansatz ist die Verknüpfung des Gerätes mit einem fest installierten Controller unter Anwendung des Master-Slave-Konzepts. Befindet sich ein Slave-Gerät in der Reichweite und unter der Verwaltung eines solchen Controllers (Masters), kann es mit bis zu 100 mW betrieben werden und unterliegt wenigen zeitlichen Beschränkungen bezüglich seiner Übertragungen. Slave-Geräte, die ihre Verbindung zum Master verlieren, müssen ihren „entspannten“ Betrieb sofort anhalten. Aufgrund des vorgeschlagenen Master-Slave-Konzepts werden die Standortinformationen auf implizite Weise ermittelt, so dass die Notwendigkeit expliziter Standortinformationen, wie sie von Positionierungssystemen wie z. B. GPS, Galileo oder GLONASS ermittelt werden, entfällt. Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass Slave-Geräte ein Bewertungssystem für ihre Slave-zu-Slave- und Slave-zu-Master-Verbindungen implementieren (z. B. zur Anzeige der Verbindungsqualität), um dem Controller Bericht erstatten zu können und es dem Slave-Gerät zu ermöglichen, selbst durch Anpassung auf Störungen durch Störempfänger reagieren zu können. Der Controller kann in den Räumlichkeiten des Nutzers zusätzlich auch für die Aufrechterhaltung der Koexistenz und für das Störungsmanagement eingesetzt werden. Auch andere Konzepte sind möglich.

Durch die Begrenzung des Betriebs auf z. B. einen typischen Innenbereich wird das Risiko von Störungen durch Geräte außerhalb der Räumlichkeiten des Nutzers aufgrund der Dämpfung durch die umgebenden Wände ausgeschlossen. Typische Werte für die Dämpfung durch Wände und Böden sind 10 dB und höher, wodurch die Feldstärke auf Werte unterhalb der Grenzwerte eines Gerätes, das mit weniger oder genau mit 10 mW arbeitet, begrenzt bleibt, so dass es ohne zeitliche Beschränkungen betrieben werden kann.

Auch ohne Wand kann die Ausbreitungsdämpfung die Störung außerhalb der Räumlichkeiten des Nutzers auf einen gewissen Pegel begrenzen, welcher unterhalb der Grenzwerte eines Gerätes, das mit 10 mW (EIRP) am Rand der Räumlichkeiten des Nutzers betrieben wird, liegen kann. Bei 2,4 GHz wird das Signal bei einem Abstand von 3 m um 49,6 dB gedämpft (nur Freiraumdämpfung berücksichtigt).

4.3.4.2 Rekonfigurierbare Funkssysteme (RRS)

Es wird damit gerechnet, dass rekonfigurierbare Funkssysteme (RRS) die Entwicklung der Funkkommunikation entscheidend vorantreiben und erhebliche Vorteile mit sich bringen werden, angefangen von rekonfigurierbaren, flexiblen und kosteneffektiven Architekturen für Funkgeräte bis hin zu einer besseren Nutzung des Funkfrequenzspektrums bei gleichzeitiger Minderung des Problems der „Frequenzknappheit“.

RRS, insbesondere die Technologien des softwaredefinierten Funks (SDR) und des kognitiven Funks, sind im kommerziellen Bereich, im Bereich der öffentlichen Sicherheit und im militärischen Bereich untersucht worden.

Bei Einsatz von RRS-Konzepten müssen zusätzlich die typischen Anforderungen an die industrielle Automatisierung gelten:

- deterministische Kommunikation zusätzlich zur „Best-Effort“-Kommunikation;
- Nutzung des bevorzugten Spektrums im Bereich von 1,4 GHz bis 6 GHz (siehe auch 4.3.2 und 5.3.2);

- RRS dürfen den Energieverbrauch nicht wesentlich erhöhen (er darf maximal doppelt so hoch wie die für ein nicht rekonfigurierbares Funksystem benötigte Energie sein);
- Beitritts-/Registrierungsverfahren für ein Netz.

4.3.4.3 Ansatz des zentralen Koordinierungspunkts (CCP)

Ein Ansatz für die Rekonfiguration eines Funksystems könnte auf dem CCP mehrerer Geräte beruhen. Die Bezeichnung „zentral“ bedeutet, dass ein einziger Koordinierungspunkt mehrere Geräte koordiniert, so dass diese nicht dafür sorgen müssen, mögliche Kollisionen zu entdecken und zu vermeiden. Dieser CCP kann auch mit einem dezentralen Ansatz mit mehr als einem CCP kombiniert werden.

Es gibt drei mögliche Klassen von CCPs:

- a) CCP für die gemeinsame Nutzung mit anderen primären Diensten/Anwendungen;
- b) CCP für die systeminterne Koexistenz;
- c) CCP im öffentlichen Bereich.

Die Hauptargumente für diesen Ansatz sind:

- Herstellung kostengünstiger Geräte:
 - Antenne, Empfänger usw. sind für den Betrieb und nicht für die Erkennung des primären Nutzers optimiert;
 - kein Pilotkanal; der CCP sollte die Sprache der gesteuerten Geräte sprechen;
- batteriebetriebene Geräte sind nicht für die benötigte Verarbeitungsleistung für die Minderungsmaßnahmen ausgelegt.

Das CCP-Konzept beinhaltet folgende Anforderungen:

- a) Der CCP darf nur geringen Einfluss auf die Störung der Außenwelt haben. Es sollte so wenig Leistung wie nötig verwendet werden, z. B. durch den Einsatz von:
 - 1) Leckwellenantennen;
 - 2) Richtantennen;
 - 3) Antennen in der Nähe der gesteuerten Geräte.
- b) Je Gerät ist Minderung zulässig.
- c) Der CCP darf über eine drahtgebundene Schnittstelle für die Konfiguration und insbesondere für die Einrichtung der Sicherheit verfügen.
- d) Der CCP muss die Sprache der gesteuerten Geräte sprechen.
- e) Zur Vereinfachung ist ein Pilotkanal zwischen dem CCP und den gesteuerten Geräten bereitzustellen. Dies steht im Widerspruch zu den Anforderungen an kostengünstige und batteriebetriebene Geräte.

Folgende CCP-Topologien sind möglich:

- ein zentraler Ansatz mit einem CCP und einer oder mehreren Antennen;
- mehrere CCPs, die sich selbst koordinieren, wobei jeder CCP eine oder mehrere Antennen haben darf.

Es müssen ein genau definiertes CCP-Protokoll, ein Algorithmus, Zuteilungsregeln usw. festgelegt werden, um eine herstellerunabhängige Implementierung mit den gleichen Systemreaktionen in bestimmten Situationen sicherzustellen.

Die Auswahl des Standorts sollte sich z. B. nach den folgenden Punkten richten:

- der Messung, wo der primäre Nutzer am besten ermittelt werden kann, z. B. auf dem Dach;
- der Antenne für die Kommunikation mit dem gesteuerten Gerät in der Nähe des gesteuerten Gerätes;