

DIN EN 62657-1



ICS 35.110

Einsprüche bis 2016-06-22

Entwurf

**Industrielle Kommunikationsnetze –
Funk-Kommunikationsnetze –
Teil 1: Anforderungen und Überlegungen zur Frequenznutzung
(IEC 65C/827A/CDV:2016);
Deutsche Fassung FprEN 62657-1:2015**

Industrial communication networks –
Wireless communication networks –
Part 1: Wireless communication requirements and spectrum considerations
(IEC 65C/827A/CDV:2016);
German version FprEN 62657-1:2015

Réseaux de communication industriels –
Réseaux de communication sans fil –
Partie 1: Exigences pour la communication sans fil et considérations relatives au spectre
(IEC 65C/827A/CDV:2016);
Version allemande FprEN 62657-1:2015

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-04-22 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 120 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 62657-1:2015 „Industrielle Kommunikationsnetze – Funk-Kommunikationsnetze – Teil 1: Anforderungen und Überlegungen zur Frequenznutzung“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 65C/827A/CDV:2016 „Industrial communication networks – Wireless communication networks – Part 1: Wireless communication requirements and spectrum considerations“ unverändert in den Entwurf FprEN 62657-1:2015 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 65C „Industrial networks“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

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

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.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Industrielle Kommunikationsnetze – Funk-Kommunikationsnetze – Teil 1: Anforderungen und Überlegungen zur Frequenznutzung

	Inhalt	Seite
	Einleitung	4
1	Anwendungsbereich	5
2	Normative Verweisungen	5
3	Begriffe, Abkürzungen und Akronyme	6
3.1	Begriffe	6
3.2	Abkürzungen und Akronyme	9
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	14
4.3.4	Andere Konzepte	15
4.4	Marktrelevanz und Anforderungen	17
4.4.1	Allgemeines	17
4.4.2	Marktposition von Industrieeinrichtungen	18
4.4.3	Kosten-Nutzen-Aspekte und Vorteile in der Anwendung	19
4.5	Soziale, gesundheitliche und umweltbezogene Aspekte	20
4.5.1	Allgemeines	20
4.5.2	Soziale, gesundheitliche und umweltbezogene Betrachtungen	21
4.5.3	Gesundheitliche Aspekte	24
4.5.4	Andere Bedenken	24
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

	Seite
5.2.3 Anwendungsfall 2 – Füllstandsüberwachung und Alarmierung in einem Tanklager	32
5.2.4 Anwendungsfall 3 – Unterstützung von Außendienstmitarbeitern durch mobile Funkeinrichtungen	33
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.....	47
5.3.3 Funkausbreitungsbedingungen, Netzabdeckung und Umfang des Netzes	48
5.3.4 Energieverbrauch	49
5.3.5 EMV	50
5.3.6 Funktionale Sicherheit.....	51
5.3.7 Eigensicherheit.....	52
5.3.8 Sicherheit.....	53
5.3.9 Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit	54
5.4 Anforderungen an den Lebenszyklus.....	56
5.5 Integration eines Funkkommunikationssystems in Automatisierungsanwendungen	56
5.6 Netzinformationen und Statistiken.....	57
Literaturhinweise.....	58

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.....	38
Bild 6 – Modell für Funkautomatisierungsgeräte für die Festlegung von Anforderungen an die Kommunikationsleistung von Anwendungen.....	39
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	40
Bild 9 – Zeitfragmente der Übertragungszeit.....	41
Bild 10 – Beispiel für die Dichtefunktionen der Übertragungszeit	42
Bild 11 – Zeitfragmente der Aktualisierungszeit	43
Bild 12 – Beispiel für die Dichtefunktionen der Aktualisierungszeit.....	44

Tabellen

Tabelle 1 – Kommunikationsanforderungen der Anwendung	18
---	----

	Seite
Tabelle 2 – Struktur der in den Anwendungsbereichen verwendeten Kommunikationsnetze	25
Tabelle 3 – Vorteile des Einsatzes von Funksystemen	26
Tabelle 4 – Beispiele für Toleranzzeiten von Anwendungen	55

Einleitung

Dieser Teil von IEC 62657 enthält allgemeine Anforderungen an die industrielle Automatisierung und Betrachtungen des Spektrums, die als Grundlage für industrielle Kommunikationslösungen dienen. Dieser Teil 1 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

Diese Technische Spezifikation 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, sodass sie von einem breiten Publikum verstanden werden können, einschließlich Lesern, die mit den Industrieanwendungen nicht vertraut sind.

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

Das vorliegende Dokument stellt außerdem eine Argumentationshilfe für die vorgeschlagenen kurzfristigen und langfristigen Lösungen bereit. Das Koexistenzmanagement nach IEC 62657-2 wird bereits bei den kurzfristigen Lösungen angewendet.

Diese Internationale Norm 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. Es werden auch andere allgemeine Anforderungen beschrieben, z. B. für das Erhalten neuen zusätzlichen Spektrums.

Die in dieser Technischen Spezifikation 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 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, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 61508 (alle Teile), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

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 61804-3, *Function Blocks (FB) for process control and Electronic Device Description Language (EDDL) – Part 3: EDDL syntax and semantics*

IEC 62443 (alle Teile), *Industrial communication networks – Network and system security*

IEC 62453, *Field device tool (FDT) interface specification*

IEC 62657-2:—, *Industrial communication networks – Wireless communication network – Part 2: Coexistence management*

IEC 62714, *Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering – Automation Markup Language*

IEC 62769, *Field device integration (FDI)*

IEC 62952, *Power sources for a wireless communication device*

ETSI/TR 102 889-2:2011, *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)*

ETSI EN 300 328

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

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 [20] 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 62657-2:2013, 3.1.14]

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, damit 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] [10]¹

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).

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 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

Frequenzband

Bereich im Frequenzspektrum, der durch Regulierungsbehörden bestimmten Anwendungen zur Nutzung zugeteilt ist

[QUELLE: IEC 62657-2:—, 3.1.22]

3.1.10

Störung

Funkstörung

Beeinträchtigung des Empfangs eines Nutzsymbols durch eine Funkstörgröße

3.1.11

Anlage

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

[QUELLE: IEC 62657-2:—, 3.1.39]

3.1.12

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

¹ Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

3.1.13 rekonfigurierbares Funksystem RRS

Funksystem, das softwaredefinierten Funk und/oder kognitiven Funk umfasst

3.1.14 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.]

3.1.15 gemeinsam genutztes Medium

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

Anmerkung 1 zum Begriff: In den ISM-Bändern (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:—, 3.1.51]

3.1.16 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] [10]

3.1.17 Störsenke

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

3.1.18 Funkanwendung

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

[QUELLE: IEC 62657-2:—, 3.1.62]

3.1.19 Funkkommunikation

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

[QUELLE: IEC 62657-2:—, 3.1.63]

3.1.20 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:—, 3.1.66]

3.1.21

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:—, 3.1.67]

3.2 Abkürzungen und Akronyme

FTF	fahrerloses Transportfahrzeug
AL	Anwendungsschicht (en: Application Layer)
AP	Zugangspunkt (en: Access Point)
APDU	Anwendungs-Protokolldateneinheit (en: Application Protocol Data Unit)
AutomationML	Automation Markup Language
BPCS	Betriebs- und Überwachungseinrichtungen (en: Basic Process Control System)
CCP;	zentraler Koordinierungspunkt (en: Central Coordination Point)
CCS	CO ₂ -Abscheidung und -Lagerung (en: Carbon Dioxide Capture and Storage)
CO ₂	Kohlendioxid
CP	Kommunikationsprofil nach IEC 61784-1 oder IEC 61784-2 (en: Communication Profile)
CR	kognitiver Funk (en: Cognitive Radio)
CRC	zyklische Redundanzprüfung (en: Cyclic Redundancy Check)
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)
EM	elektromagnetisch
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit
EMI	elektromagnetische Störung (en: Electromagnetic Interference)
EMS	elektromagnetische Störempfindlichkeit
FIFO	First-In-First-Out-Speicher
FSCP	funktional sicheres Kommunikationsprofil
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System

GSM	Global System for Mobile Communications
E/A	Eingabe/Ausgabe
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
MU	Mediennutzungsfaktor (en: Medium Utilization Factor)
NLOS	ohne Sichtverbindung (en: None Line of Sight)
OLOS	blockierte Sichtverbindung (en: Obstructed Line of Sight)
PC	Personal Computer
PHY	Bitübertragungsschicht (en: Physical Layer)
SPS	Programmable logic controller
PPE	persönliche Schutzausrüstung
RE	erneuerbare Energien (en: Renewable Energies)
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)
TS	Technische Spezifikation
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), sodass 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 Normalerweise sind derartige Informationen in der Gerätedokumentation enthalten.

4.2 Koexistenzmanagementprozess (siehe IEC 62657-2)

In industriellen Automatisierungsanwendungen kommen standardmäßige Netzlösungen mit spezifischen Leistungsmerkmalen (wie 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:
 - Energieerzeugung (z. B. Windkraftanlagen),
 - Energieverteilung (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 (WirelessHART²), 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. Teil 2 von IEC 62657 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

Dieser Teil von IEC 62657 behandelt die folgenden Konzepte sowie die sich daraus ergebenden Anforderungen für die Nutzung des Spektrums in industriellen Funkanwendungen:

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

² WirelessHART® ist das eingetragene Warenzeichen der FieldComm Group™. Der Leser sei darauf hingewiesen, dass diese Information keine Empfehlung für das bezeichnete Produkt durch die IEC ist. Wenn sie zu den gleichen Ergebnissen führen, dürfen gleichwertige Produkte angewendet werden.

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 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, welches allgemeinen SRDs zugeteilt ist. Das 2,4-GHz-Band ist ein häufig genutztes Band, dessen Nutzung in den einzelnen Ländern geregelt ist.

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 [15] und ETSI EN 300 440-2 [16] 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 [14] und ERC REC 7003 [12] einhalten. Die in ETSI EN 300 328 genannten Einschränkungen verlangen

- einen Mechanismus für die automatische gemeinsame Mediennutzung, der die Anwendung von LBT (Listen before Talk) erfordert oder,
- einen Mediennutzungsfaktor (MU) oder,
- einen DAA-Mechanismus (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, z. B. Störsendungen. Dazu kann das Wechseln auf andere Frequenzen gehören. Es gibt Normen zur Netzsicherheit für Industrieanwendungen, z. B. IEC 62443.

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 errichten, können diese durch die Einhaltung dieser Norm bis zu einem gewissen Grad nebeneinander existieren. Die in einigen anderen Normen enthaltenen Vorschriften, z. B. für Bluetooth³, 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, sind zusätzliche Koexistenzlösungen erforderlich, um sicherzustellen, dass die gemeinsame Nutzung vorherbestimmt und gleichberechtigt erfolgt.

Ein Beispiel für eine geeignete Funktechnologie für industrielle Funkanwendungen ist das Industrieprotokoll nach IEC 62591, das mehreren tausend Geräten den Betrieb in einem Maschennetz über mehrere Jahre ohne jegliche Kollision untereinander ermöglicht. Dieses Verhalten beruht technisch auf der taktisynchronisierten Zuweisung von Slots, der sogenannten TDMA-Technologie – einem Mehrfachzugriffsverfahren auf Zeitmultiplexbasis –, und auf einem Netzwerkmanagement-Werkzeug in einem Zugangspunkt (Gateway), das die zulässigen Slots für die Übertragung von Daten zuweist.

Für unkritische Funkverbindungen können die vorhandenen nicht lizenzierten Bänder, wie 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 die Nutzer mit der gleichen Priorität wie im ISM-Band 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;
- CCP;
- angewendete Minderungstechnik bzw. angewendetes Verfahren zur gemeinsamen Nutzung in dem Bereich, den andere nutzen, um den primären Nutzer zu ermitteln.

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

³ Bluetooth[®] ist das eingetragene Warenzeichen der Bluetooth Special Interest Group. Der Leser sei darauf hingewiesen, dass diese Information keine Empfehlung für das bezeichnete Produkt durch die IEC ist. Wenn sie zu den gleichen Ergebnissen führen, dürfen gleichwertige Produkte angewendet werden.

möglicherweise nicht geeignet. Langfristiges Koexistenzmanagement sollte um ein zusätzlich zugeteiltes, weltweit eindeutiges Spektrum ergänzt werden.

Die geforderten Frequenzbänder sollen nicht der allgemeinen, lizenzfreien Nutzung dienen, sondern 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.
- Dieses neue Band muss für die weltweite Nutzung vorgesehen sein.

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 Teils von IEC 62657 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 einer der Anhänge von ERC REC70-03 [12]. 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, Kommunikationsunkosten 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 [11], 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, sodass die Notwendigkeit expliziter Standortinformationen, wie sie von Positionierungssystemen wie 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 im Fall von Störungen durch Störimpfer selbst unmittelbare Anpassungen vornehmen zu können. Der Controller kann in den Räumlichkeiten des Nutzers zusätzlich auch für die Aufrechterhaltung der Koexistenz und für das Störungsmanagement eingesetzt werden.

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, sodass 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, 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 (CR), sind im kommerziellen Bereich, im Bereich der öffentlichen Sicherheit und im militärischen Bereich untersucht worden.

Für die industrielle Automatisierung gelten folgende zusätzliche Anforderungen:

- 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 zentralen Koordinierungspunkt (CCP) mehrerer Geräte beruhen. Die Bezeichnung „zentral“ bedeutet, dass ein einziger Koordinierungspunkt mehrere Geräte koordiniert, sodass 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:

- 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:
 - Leckantennen;
 - Richtantennen;
 - der Antenne in der Nähe der gesteuerten Geräte;
- zulässige Minderung je Gerät;
- der CCP muss über eine drahtgebundene Schnittstelle für die Konfiguration und insbesondere für die Einrichtung der Sicherheit verfügen;
- der CCP muss die Sprache der gesteuerten Geräte sprechen;
- 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.

Sowohl das Konzept des zentralen oder dezentralen Koordinierungspunkts als auch die Kombination aus beiden Konzepten müssen einen Systemansatz unterstützen.

Um eine Zulassung aufgrund der Einhaltung der verschiedenen nationalen und regionalen Vorschriften zu bekommen, muss ein Prüfverfahren eingerichtet werden.

Es müssen ein genau definiertes CCP-Protokoll, ein Algorithmus, Zuteilungsregeln usw. festgelegt werden, d. h. es müssen die Systemreaktionen für bestimmte Situationen festgelegt werden, um eine herstellerunabhängige Implementierung 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;
- der Anforderung für ein Koexistenzmanagement nach IEC 62657-2.

4.4 Marktrelevanz und Anforderungen

4.4.1 Allgemeines

Moderne Automatisierungsanwendungen setzen zunehmend Funktechnologie zur Übertragung von Daten ein. Heutzutage ist die Funktechnologie so weit entwickelt, dass sie sowohl innerhalb der Prozess- als auch der Fertigungsautomatisierung Anwendung findet. Aktuelle Erfahrungen zeigen, dass die Funktechnologie eine wichtige Rolle in der Anwendung des Konzepts „Industrial Internet of Things“ spielen wird. Die meisten Funkkommunikationssysteme nutzen die lizenzfreien ISM-Frequenzbänder zur Übermittlung von Prozess-

und Diagnosedaten. Aufgrund der vielfältigen Anforderungen, wie Übertragungsgeschwindigkeit und die zu überbrückenden Entfernungen, haben sich mehrere Funktechnologien auf dem Markt etabliert.

Im Vergleich zu anderen Produktionsbereichen erfolgt die industrielle Herstellung stark automatisiert. Die globale Produktivität der industriellen Herstellung kann von dem Einsatz von Funkgeräten profitieren.

Beispiele für industrielle Produktionsbereiche sind die Automobilindustrie, die chemische Industrie, die pharmazeutische Industrie, die Maschinenindustrie und die Lebensmittel- und Getränkeindustrie.

Um den industriellen Funkmarkt mit dem Telekommunikations- und kommerziellen Markt zu vergleichen, ist das Zählen der Knoten nicht der richtige Ansatz.

Die Marktrelevanz von Funkgeräten für den industriellen Automatisierungsmarkt kann gezeigt werden, indem man die Einnahmen des Endproduzenten in Bezug auf den Markt betrachtet, in dem die Funkgeräte und -maschinen eingesetzt werden (siehe Bild 1). Auf dem Telekommunikations- und kommerziellen Markt stellt der Verkauf des Gerätes meistens das Ende der Einnahmen dar, während in der industriellen Automatisierung die Einnahmen des Endproduzenten erst durch den Einsatz der Funkgeräte ermöglicht werden.

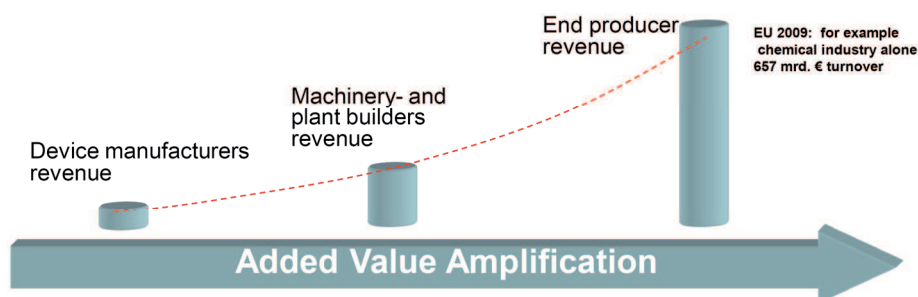


Bild 1 – Einnahmen des Endproduzenten

4.4.2 Marktposition von Industrieeinrichtungen

4.4.2.1 Funkprodukt

Ein Funkprodukt wird üblicherweise als Funkfeldgerät oder Funkgerät für industrielle Automatisierungsanwendungen bezeichnet. Das Attribut „Funk-“ bedeutet, dass eine drahtlose Kommunikationsschnittstelle vorhanden ist. Funkprodukte können auf verschiedene Weise klassifiziert werden, beispielsweise nach dem in Tabelle 1 beschriebenen Schema, bei dem sie entsprechend dem Grad der Kritikalität der Anwendung eingestuft werden. Der Aufwand für das Koexistenzmanagement kann entsprechend der in Tabelle 1 beschriebenen Klassifizierung variieren.

Tabelle 1 – Kommunikationsanforderungen der Anwendung

Klasse	Anwendung	Kommunikationsanforderungen der Anwendung
Funktionale Sicherheit	Implementierung eines sicherheitsbezogenen Systems, dessen Versagen die Sicherheit von Personen und/oder der Umgebung und/oder der Anlage beeinflussen kann	Das Kommunikationsprotokoll sollte eine funktional sichere Kommunikation unterstützen und der Koexistenzmanager muss eingesetzt werden, um alle Anforderungen von IEC 62657-2 durchzusetzen.
Steuerung und Regelung	Regelung mit geschlossenem Regelkreis oder Steuerung mit offenem Regelkreis	Das Kommunikationsprotokoll sollte eine bessere Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Zeitkritikalität unterstützen als in anderen Anwendungsbereichen, wie der Konsumgüterindustrie oder der Telekommunikation. Der Koexistenzmanager muss eingesetzt werden, um die meisten Anforderungen von IEC 62657-2 durchzusetzen.

Überwachung	Prozessvisualisierung und -alarmierung	Für das Kommunikationsprotokoll sind keine weiteren Add-Ons erforderlich. Der Koexistenzmanager sollte eingesetzt werden, um wenigstens einige Anforderungen von IEC 62657-2 durchzusetzen.
ANMERKUNG 1 Diese Tabelle ist aus IEC 62657-2:— übernommen worden (Tabelle 1).		
ANMERKUNG 2 Die jeweiligen Bezeichnungen „meisten“ und „Minimal-“ basieren auf der graphischen Beschreibung in IEC 62657-2:—, Bild 3.		

Die Klassifizierung von Automatisierungsanwendungen bezieht sich vorrangig auf die funktionalen Anforderungen der betrachteten Anwendung. Es ist allerdings auch möglich, dass eine Automatisierungsanwendung aufgrund der Kritikalität ihrer Funktionalität in eine weniger kritische Anwendungsklasse eingestuft wird, sie in Bezug auf die Geschäftsprozesse aber von großer Wichtigkeit ist. In einem solchen Fall wird empfohlen, die Anwendung einer kritischeren Anwendungsklasse zuzuordnen, um ihre Bedeutung für das Unternehmen korrekt abzubilden und die Notwendigkeit der Sicherstellung der Koexistenz deutlich zu machen.

Weitere Anwendungen, von funkgestützten Barcodelesern bis hin zu Voice- und Video-over-IP-Anwendungen, können auf gleiche Weise klassifiziert werden.

4.4.2.2 Funkmaschine

Eine Funkmaschine ist eine Maschine, die für die Kommunikationsfunktion ein Produkt wie ein Funkfeldgerät einsetzt (siehe 4.4.2.1). Der Hersteller einer Maschine kann Funkprodukte (siehe 4.4.2.1) nutzen, um die Produktion einer Maschine effizienter zu machen.

4.4.2.3 Verbesserte Produktion

Eine Anlage eines Produktherstellers umfasst die Einrichtungen, Maschinen, Vorrichtungen, Geräte, Transportmittel, Steuerausrüstung und andere Betriebsmittel, die für eine effiziente Herstellung der vorgesehenen Produkte nötig sind. Produkthersteller setzen Funkmaschinen (siehe 4.4.2.2) und Funkprodukte (siehe 4.4.2.1) ein, um die Produktion im Vergleich zu einer kabelbasierten Kommunikationsnetzschnittstelle effizienter zu machen.

4.4.3 Kosten-Nutzen-Aspekte und Vorteile in der Anwendung

4.4.3.1 Allgemeines

Bei der Frage nach dem Einsatz eines industriellen Funksystems sollte betrachtet werden, ob ein solcher Einsatz (unter Berücksichtigung der technischen Kriterien in IEC 62657-2:2013, Abschnitt 6) wirtschaftlich realisierbar ist und welche konkreten Vorteile erzielt werden könnten (siehe 5.1.2.2).

4.4.3.2 Kosten-Nutzen-Faktoren

4.4.3.2.1 Allgemeines

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten für den Einsatz industrieller Funksysteme zu nutzen, die verschiedene Vorteile mit sich bringen. Um diese Vorteile für den Nutzer oder Betreiber ermitteln zu können, müssen die verschiedenen Lebenszyklusphasen einer Anlage und der mögliche Einsatz entsprechender Kommunikationssysteme genauer betrachtet werden. Die folgenden Faktoren sollten hierbei näher beleuchtet und berücksichtigt werden, wenn Funksysteme innerhalb eines Anwendungsgebiets oder mit drahtgebundenen Alternativen verglichen werden:

- quantitative Faktoren;

- qualitative Faktoren.

Alle diese Faktoren können in einem konkreten Fall vom Nutzer zusammengetragen werden, um herauszufinden, ob der Einsatz eines Funksystems im entsprechenden Fall sinnvoll ist und welche Systeme verwendet werden sollten.

4.4.3.2.2 Quantitative Faktoren

Es sollten die folgenden quantitativen Faktoren berücksichtigt werden.

- Technische Kosten, z. B. für die Planung, Gerätekonfiguration und -programmierung;

ANMERKUNG 1 Dieser Kostenfaktor hängt maßgeblich von den jeweiligen Funksystemen ab, denn einfachere Systeme müssen oft nur eingeschaltet werden. Im Gegensatz dazu ist bei anderen, komplexeren Systemen oft eine umfassende Gerätekonfiguration erforderlich, um eine zuverlässige und effektive Kommunikation bereitzustellen.

- Material- und Gerätekosten, z. B. für Kabelleitungen und Kontakte für Sensoren im Gegensatz zu Zugangspunkten und Antennen.

ANMERKUNG 2 Die für Material und Geräte veranschlagten Kosten halten sich für beide Arten von Systemen (drahtlose und drahtgebundene) in etwa die Waage.

- Einrichtungskosten, z. B. für die Montage (das Legen von Kabeln im Gegensatz zum Aufstellen einer Antenne);

ANMERKUNG 3 Verglichen mit drahtgebundenen Systemen sind Funksysteme in der Einrichtung oft günstiger.

- Betriebs- und Instandhaltungskosten, z. B. Reinigungskosten, Kosten für Reparaturen und Ersatzteile bei Verschleiß sowie auch die Nebenkosten in Stillstandszeiten.

ANMERKUNG 4 Beim Einsatz von Funksystemen sind an dieser Stelle die größten Einsparungen möglich.

4.4.3.2.3 Qualitative Faktoren

Es sollten die folgenden qualitativen Faktoren berücksichtigt werden.

- Systemverfügbarkeit: unter Anwendung des Funkkoexistenzmanagements kann mit einem Funkkommunikationsnetz dieselbe Systemverfügbarkeit wie mit einem drahtgebundenen Kommunikationsnetz erreicht werden;
- Produkt-/Prozessqualität: durch die Verwendung zusätzlicher Sensoren, deren Einsatz mit einem Kabelanschluss nicht wirtschaftlich wäre, können zusätzliche Messwerte gewonnen werden und z. B. die Rückweisungsquote in der Produktion reduziert und Prozesse optimiert werden;
- Leistung der Kommunikationsinfrastruktur: diese wird durch den Anschluss der erforderlichen Anzahl von Teilnehmern und durch Nutzung einer geeigneten Datenrate erreicht;
- Erweiterbarkeit/Flexibilität der Kommunikationsinfrastruktur: d. h. wie gut kann das System um zusätzliche Teilnehmer erweitert oder für diese umgebaut werden.

4.5 Soziale, gesundheitliche und umweltbezogene Aspekte

4.5.1 Allgemeines

Durch entsprechende Leistungsmerkmale der Funkkommunikation in industriellen Automatisierungsanwendungen kann die Industrie die Anforderungen bezüglich sozialer und umweltbezogener Aspekte erfüllen und die in 4.5 beschriebenen Vorteile erzielen.

Funkanwendungen für die Industrie bringen viele mögliche soziale und umweltbezogene Vorteile mit sich. Zu diesen Vorteilen gehören die Erhöhung der Sicherheit, die Verbesserung der Arbeitsumgebung und Gesundheit, die Ressourcenschonung und die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes. Die meisten dieser industriellen Anwendungen setzen Mechanismen von Steuer- und Sicherheitsanwendungen ein.

Steuer- und Sicherheitsanwendungen setzen in der Regel vorhersehbare, bestimmbare und wiederholbare Leistungsmerkmale voraus, damit ihre Kommunikationsdienste nicht von weniger kritischen Anwendungen unterbrochen werden. Steuersysteme sind Gruppen von Geräten, die Sensoren und andere Eingaben überwachen, Entscheidungen zur Steuerung treffen und Ausgaben zur Interaktion mit der realen Welt generieren, z. B. Pumpen, Ventile, Heizgeräte, Ampeln. Falsche Ausgaben aufgrund einer beschädigten Steuerung können Menschen, der Umwelt oder Betriebsmitteln Schaden zufügen.

Durch den Einsatz der Funkkommunikation können mehr Informationen von der Anlage abgerufen werden, wodurch die Steuerung verbessert wird. Eine Fertigungsanlage für Plastikflaschen kann beispielsweise Material einsparen, wenn die Messung der Materialdicke durchgängig mit der gleichen Genauigkeit erfolgt. Dies kann durch Implementierung zusätzlicher Messpunkte entlang der Fertigungslinie erreicht werden, die Temperatur, Druck, Fluidität usw. des Materials während des Transports zum Extruder kontrollieren.

4.5.2 Soziale, gesundheitliche und umweltbezogene Betrachtungen

4.5.2.1 Vermeidung schwerer Unfälle

Unfälle, die in Fertigungsanlagen passieren, in denen Gefahrenstoffe und hohe Energien zum Einsatz kommen, können schwerwiegende Folgen haben. Solche Unfälle könnten durch den Einsatz eines Schutzsystems auf mehreren Ebenen verhindert werden. IEC 61511 [3] legt die folgenden fünf Ebenen für den Schutz der Prozessindustrie fest (siehe Bild 2): Steuerung/Regelung und Überwachung, Vermeidung, Minderung, Notfallschutz der Anlage und Notfallschutz des Personals. Auf jeder Ebene dient Funktechnologie dazu, die Schutzebene aufrechtzuerhalten und zu verbessern.

Das BPCS ist als eine Schlüsselschutzebene ein „System, das auf Eingangssignale vom Prozess und seinen zugehörigen technischen Einrichtungen, von anderen programmierbaren Systemen und/oder von einem Bediener antwortet und Ausgangssignale erzeugt, die den Prozess und seine zugehörigen technischen Einrichtungen in der gewünschten Weise steuern“. Zwischen dem BPCS und dem Prozess könnte ein Funkkommunikationssystem eingesetzt werden, das drahtlose Sensoren und drahtlose Aktoren verwendet. Es könnte ebenfalls für die Kommunikation mit anderen zugehörigen technischen Einrichtungen und anderen Bedienern genutzt werden, die die erforderlichen Aktionen nur auf entsprechende Alarmerhin durchführen.

Das sicherheitstechnische System (SIS) führt festgelegte Funktionen aus, um einen sicheren Zustand des Prozesses zu erreichen oder aufrechtzuerhalten, wenn unzulässige oder gefährliche Prozessbedingungen erkannt werden. Es wird sowohl zu Zwecken der Vermeidung als auch der Minderung eingesetzt. Sicherheitstechnische Systeme sind von regulären Steuersystemen unabhängig, bestehen aber aus ähnlichen Elementen, wie Sensoren, speicherprogrammierbaren Steuerungen, Aktoren und unterstützenden Systemen. Ein Funkkommunikationssystem könnte sowohl für ein SIS als auch für ein BPCS genutzt werden.

Die letzten beiden Ebenen umfassen den Notfallschutz der Anlage und den Notfallschutz des Personals. Im Fall eines schwerwiegenden Sicherheitsereignisses reagiert diese Ebene in einer Weise, dass fortdauernder Schaden und das Risiko von Verletzung oder Tod minimiert werden. Hierzu gehören Evakuierungspläne, Brandbekämpfung usw. Funkkommunikationssysteme unterstützen Funktionen wie Warnung bei einer Evakuierungsanweisung und Überwachung der Gefahrenzone.

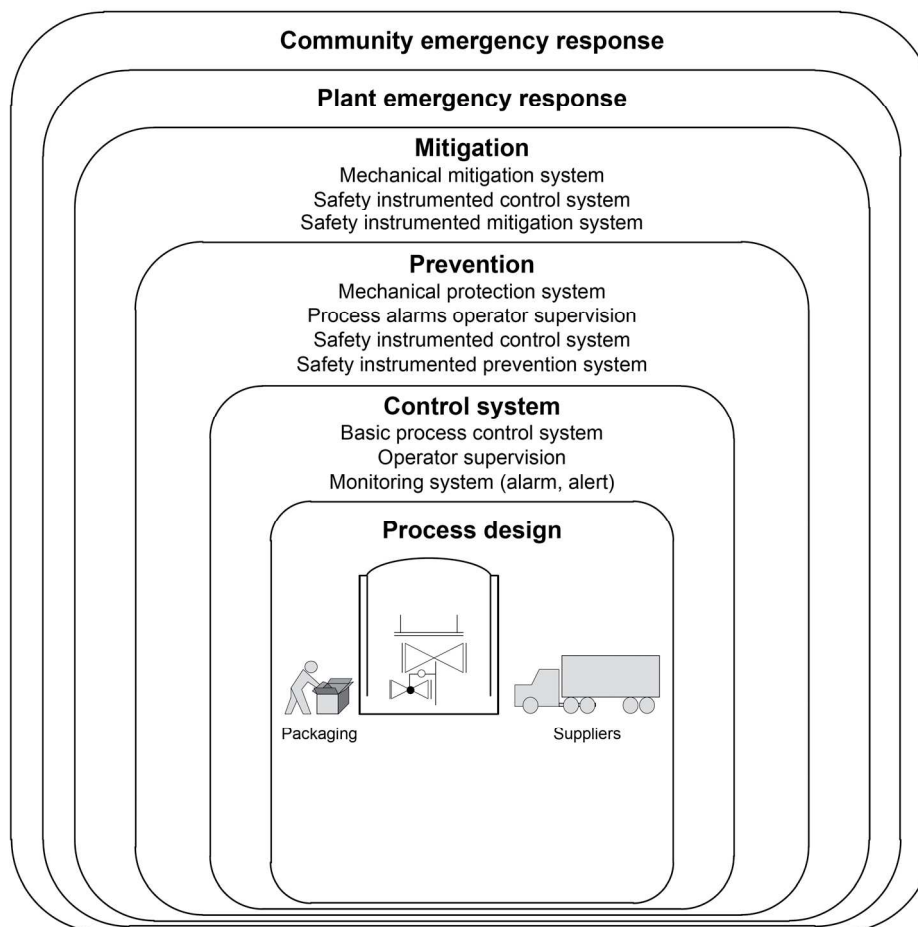


Bild 2 – Typische Risikominderungsmaßnahmen in Prozessanlagen

4.5.2.2. Erhöhung der Sicherheit für den Menschen

In einer Produktionsumgebung gibt es viele Maschinen und Betriebsmittel, die Verletzungsgefahr für das Personal in sich bergen, wie Pressen und fahrerlose Transportfahrzeuge. In solchen Umgebungen ermöglicht die Funkkommunikation den Einsatz von Sicherheitssystemen, welche die Sicherheit für den Menschen gewährleisten.

In Anlagen, in denen entflammbare oder giftige Gase zum Einsatz kommen, könnten Maßnahmen, die Funktechnologie einsetzen, notwendig sein, z. B. die Überwachung des Austritts derartiger gefährlicher Gase, die Meldung der Evakuierungsanweisungen an das Bedienpersonal und die Bestätigung der Sicherheit des Personals.

4.5.2.3 Erhöhung der Energieeffizienz

Seitdem die Energieeffizienz als Hauptfaktor für die Sicherung einer nachhaltigen Gesellschaft im Hinblick auf die Klimaveränderung, die wachsende Bevölkerung und die Versorgungssicherheit angesehen wird, steht sie weltweit stetig zunehmend im Fokus. Durch die wachsende Bevölkerung und die Industrialisierung von Ländern entsteht ein enormer Bedarf an elektrischer Energie.

Funkkommunikationssysteme tragen dazu bei, dass moderne Energieverwaltungssysteme eingesetzt werden, die unter anderem Funktionen zur Messung des Energieverbrauchs und zur Optimierung der Energieeffizienz bereitstellen.

Energieverwaltungssysteme haben einen großen Anteil an der Gesamtlösung des Energieproblems, da sie für eine optimierte Energienutzung, eine allgemeine Zuverlässigkeit und für Leistungsnachhaltigkeit sorgen.

Verbrauchsarme Produkte, die funktionsbereit sind, auch wenn sie nicht gebraucht werden, verbrauchen weiterhin Energie (Lampen, Motoren und Elektronikteile im Standby-Modus usw.). Die Änderung der Temperatureinstellung einer Heizung oder Klimaanlage um 2 °C kann bis zu 10 % zusätzliche Energie kosten, d. h., kleine Abweichungen können bedeutende Folgen haben.

Automatisierung und Steuerung spielen bei der Optimierung der Energienutzung eine zentrale Rolle.

- Sie regeln den Verbrauch derart, dass zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort nur das verbraucht wird, was wirklich benötigt wird.
- Mit ihrer Hilfe können „schlechte Gewohnheiten“ korrigiert und Verhaltensweisen verbessert werden.
- Sie können auf einfache Weise in vorhandene Umgebungen integriert werden und verbessern die vorhandenen Leistungsmerkmale.
- Sie ergänzen energieeffiziente Endprodukte, um die gesamte Nutzungsleistung zu verbessern.

Beispiele für derartige Lösungen sind Präsenz- und Bewegungsmelder, Zeitschaltuhren, drehzahlgeregelte Antriebe, die Automatisierung und Steuerung von elektrischen Motorsystemen, speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS). Durch Funkkommunikationssysteme werden diese Lösungen effizienter und sind für die vorgesehene Anwendung besser geeignet.

4.5.2.4 Verbesserung der Arbeitsumgebung

Automatisierungssysteme können verhindern, dass Menschen in gefährlichen Umgebungen arbeiten, können schwere physische Arbeit reduzieren und können Mitarbeiter mit monotonen Aufgaben ersetzen. Die Notwendigkeit der Verkabelung allerdings erschwert die Durchführung von Aufgaben in einigen Fällen. Eine Verkabelung könnte aufgrund der Kosten für die zu überbrückende Entfernung oder der Häufigkeit der Nutzung unpraktisch sein. In anderen Fällen ist eine verkabelte Verbindung unter Umständen nicht umsetzbar, weil sich die Kommunikationspunkte bewegen.

Funkkommunikationssysteme können eingesetzt werden, um Echtzeitinformationen zur Nutzung der persönlichen Schutzausrüstung (PPE) bereitzustellen; sie können ermitteln, ob alle Mitarbeiter die geforderte PPE tragen, sie können die Anwesenheit der Mitarbeiter überwachen und diese warnen, wenn die PPE nicht ordnungsgemäß verwendet wird. Diese Systeme können auch sehr nützlich sein, um zu erkennen, dass ein Mitarbeiter einen Bereich betritt, in dem er Gefahren ausgesetzt ist (physischer Schutz). Sie können beispielsweise erkennen, ob sich ein Mitarbeiter in der Bahn eines sich bewegenden Roboterarms oder einer anderen beweglichen Einrichtung befindet.

Funkkommunikationssysteme können diese Probleme lösen und die Arbeitsumgebung verbessern.

4.5.2.5 Reduzierung des CO₂-Ausstoßes

Aus politischer und wissenschaftlicher Sicht konzentriert sich die weltweite Auseinandersetzung mit diesem Thema auf die Begrenzung der globalen Erwärmung auf eine Erhöhung um 2 °C bis zum Ende des Jahrhunderts. Um eine solche Begrenzung auch tatsächlich zu erreichen, hat die IEA das 450-µpm-Szenario (Ziel-CO₂-Äquivalentkonzentration) entwickelt. Dieses Szenario sieht eine Reduzierung der jährlichen CO₂-Emissionen von fast 19 Gt gegenüber einem „Business-as-usual“-Szenario bis 2030 vor. Fast 45 % der notwendigen Reduzierung sollen durch Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung erreicht werden. Dieser Prozentsatz kann weiter aufgeteilt werden auf die Industrie mit einem Beitrag von 10 %, Gebäude mit 18 % Beitrag und den Transportsektor mit 17 %. Des Weiteren muss die Nachhaltigkeit und Schonung von Ressourcen in Betracht gezogen werden. Die Automatisierung an sich ist ein notwendiges Hilfsmittel für Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung sowie für Lösungen und Systeme.

Erneuerbare Energien (REs) gehören zu jenen Methoden der Energiegewinnung, die auf unbestimmte Zeit eingesetzt werden können, ohne Treibhausgase auszustoßen; und sie sind nicht nur für die Energieeffizienz und die Entkarbonisierung von Bedeutung. Zu REs gehören Wasserkraft, Windkraft, solarthermische Kraft, photovoltaischer Strom, geothermische Kraft, Wärmepumpensysteme und Atomkraft.

Die Abscheidung und Lagerung von CO₂ (CCS) ist eine der Methoden, durch die beträchtliche Senkungen der CO₂-Emissionen erreicht werden können. Es gibt zwei Hauptoptionen zur Lagerung von CO₂: Lagerstätten im Meer oder geologische Lagerstätten.

Für alle diese Lösungen sind Funkkommunikationssysteme sehr nützlich.

4.5.2.6 Schonung begrenzter natürlicher Ressourcen

Begrenzte natürliche Ressourcen (z. B. Wasser, Energie, Gold) sind in einigen Industrieprodukten enthalten oder werden für deren Herstellung benötigt. Da diese Ressourcen begrenzt sind, sollten sie auf optimale Weise genutzt werden, um eine nachhaltige Gesellschaft zu unterstützen.

Automatisierungssysteme sind für diese Optimierung unverzichtbar und mithilfe von Funkkommunikationssystemen könnte eine noch bessere Optimierung erzielt werden.

Beispiele für die Schonung begrenzter natürlicher Ressourcen durch die Verwendung von Funkkommunikationssystemen sind:

- Abwasserbehandlungssysteme: es werden zusätzliche Informationen von beweglichen Schiebern genutzt, um den Reinigungsprozess zu verbessern und die Menge an Frischwasser in Chemieanlagen zu reduzieren;
- intelligente Stromnetze („Smart Grids“): durch die Implementierung vieler Messeinrichtungen in einem weit verteilten Steuersystem können der Energieverbrauch reduziert und fossile Brennstoffe eingespart werden;
- chemische Fertigungsprozesse: viele vorübergehend angebrachte Funkgeräte stellen Daten bereit, die nur während des Anlaufs von Bedeutung sind und zur Reduzierung der Menge von Rohmaterial beitragen.

4.5.3 Gesundheitliche Aspekte

Die Sendeleistung von Bluetooth, WLAN und anderen Funksystemen ist 10 Mal bis 20 Mal niedriger als die Sendeleistung von Mobiltelefonen, welche bis zu 2 W hoch sein kann. Industrielle Funkmodule werden außerdem auch nicht direkt am Körper getragen, und die vom Körper aufgenommene Strahlungsleistung liegt in der Regel unter 1/1 000 der gesendeten Energie. Im Vergleich zu einem Mobiltelefon ist die Strahlenbelastung durch ein industrielles Funkmodul demnach viel kleiner und kann als nahezu unbedeutend eingestuft werden. Die medizinischen Risiken sind dementsprechend gering.

Weitere Informationen können auf nationaler Ebene bei Behörden, wie dem deutschen Bundesamt für Strahlenschutz, erfragt werden oder Publikationen, wie dem Safety Code 6 in Canada, dem OET Bulletin 65 in den USA oder IEEE C95.1-2005, oder internationalen Normen, wie IEC 62479:2010, Anhang A, oder ICNIRP [24], entnommen werden.

Die Funkkommunikation stellt medizinisch kein Problem dar, sofern sie mit den in 4.5.3 genannten Einschränkungen eingesetzt wird.

4.5.4 Andere Bedenken

Da die auf elektrischen Feldern beruhende Kommunikation nicht sichtbar, riechbar, fühlbar usw. ist, könnte Funktechnologie als Magie und damit als nicht zuverlässig angesehen werden.

Es gibt Bedenken hinsichtlich batteriebetriebener Funkgeräte. Dies stellt kein Problem dar, solange Batterien in Übereinstimmung mit der Richtlinie 2006/66/EG [13] des Europäischen Parlaments über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altkumulatoren (auch als „Batterierichtlinie“ bekannt) oder einem ähnlichen Verfahren in anderen Ländern verwendet werden.

Die Funkkommunikation selbst stellt kein Problem dar. Funktechnologie hat sich bewährt, wird seit Jahrzehnten untersucht und wird weit verbreitet in öffentlichen Bereichen eingesetzt. Der Batteriebetrieb hat sich bis heute bewährt und entwickelt sich dank der Elektromobilität weiter.

5 Anforderungen an die Funkkommunikation in der industriellen Automatisierung – Betrachtungen für Automatisierungsexperten

5.1 Einsatz von Funkkommunikationsnetzen in der industriellen Automatisierung

5.1.1 Allgemeines

In 5.1 sind Anforderungen an die Funkkommunikation festgelegt, die in Anwendungen von Funkkommunikationssystemen in der industriellen Automatisierung begründet sind.

Lange Zeit wurden überall in der industriellen Automatisierung drahtgebundene Kommunikationssysteme eingesetzt. Auch wenn Funkkommunikationssysteme nicht alle vorhandenen drahtgebundenen Kommunikationssysteme ersetzen werden, weisen sie gegenüber diesen besondere Merkmale auf. Diese Merkmale können für industrielle Automatisierungssysteme enorm vorteilhaft sein, bringen aber auch neue Bedenken mit sich, die vor dem praktischen Einsatz geklärt werden müssen. Deshalb sollten die grundlegenden Unterschiede zwischen drahtlosen und drahtgebundenen Kommunikationssystemen sowohl hinsichtlich der Vorteile als auch hinsichtlich der Bedenken klar erkannt werden. Diese grundlegenden Unterschiede werden in 5.1.2 erörtert.

Funkkommunikationssysteme können innerhalb der industriellen Automatisierung in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt werden. Diese Anwendungsbereiche können nach zwei Aspekten kategorisiert werden. Ein Aspekt betrifft die Anlagenebene, auf der das Funkkommunikationssystem eingesetzt wird, der andere Aspekt bezieht sich auf die Art der Industrie, in der das System verwendet wird. Diese Kategorisierungen werden in 5.1.3 beziehungsweise in 5.1.4 behandelt.

Die Phase des Lebenszyklus einer Anlage (Inbetriebnahme, Instandhaltung, Betrieb usw.), in der die Funkanwendung zum Einsatz kommt, sollte ebenfalls berücksichtigt werden, da diese möglicherweise spezifische Anforderungen in sich birgt.

Funkkommunikationsanforderungen lassen sich am besten mit praktischen Anwendungsfällen begründen. In 5.2 sind einige typische Anwendungsfälle beschrieben. Jeder Anwendungsfall hebt mehrere grundlegende Anforderungen hervor und stellt Hintergrund und Kontext für die entsprechenden Anforderungen bereit.

Um alle grundlegenden Anforderungen an Funkkommunikationssysteme einheitlich abzudecken, ist eine Kategorisierung der Anforderungen dienlich. Die kategorisierten Funkkommunikationsanforderungen sind in 5.3.3 bis 5.3.4 angegeben.

Tabelle 2 zeigt die Struktur der in den Anwendungsgebieten verwendeten Anlagennetze.

Tabelle 2 – Struktur der in den Anwendungsbereichen verwendeten Kommunikationsnetze

Kommunikationsnetze in der industriellen Automatisierung (5.1.3)	Anwendungsgebiet (5.1.4)	
	Prozessautomatisierung (5.1.4.2)	Fertigungsautomatisierung (5.1.4.3)
Anlagenübergreifendes Funknetz (5.1.3.2)	Anwendungsfälle (5.2)	
Anlagenweites Funknetz (5.1.3.3)		
Sensor-/Aktor-Funknetz (5.1.3.4)		

5.1.2 Grundlegende Unterschiede zwischen drahtlosen und drahtgebundenen Kommunikationsnetzen

5.1.2.1 Allgemeines

Innerhalb der letzten Jahre wurde die Funkkommunikation auf vielfältige Weise weiterentwickelt, sodass sie mittlerweile auch in komplexen Anwendungen der industriellen Automatisierung zum Einsatz kommt. Manche Personen haben Bedenken beim Einsatz von Funktechnologien, weil sie unzureichend oder falsch informiert sind. Die folgenden Ausführungen dienen dazu, die größten Bedenken auszuräumen.

5.1.2.2 Vorteile des Einsatzes von Funkkommunikationsnetzen

Das Hauptmerkmal drahtloser Kommunikationssysteme ist natürlich, dass keine Kabel benötigt werden, um Kommunikationsknoten miteinander zu verbinden. Diese Eigenschaft senkt nicht nur die Materialkosten für Kabel, sondern reduziert möglicherweise auch Kosten und zeitlichen Aufwand für die Einrichtung von Kommunikationssystemen. Sie alleine ermöglicht neue Anwendungen, wie ein temporäres Messsystem für den Zweck der Prozessanalyse und Fehlererkennung. Gleichmaßen gibt es drahtgebundene Kommunikationsanwendungen, die zwar technisch machbar, aber wirtschaftlich gesehen unpraktisch sind, z. B. lange Kabelleitungen für ein paar wenige Messpunkte.

Da Funkkommunikationssysteme in beweglichen oder rotierenden Einrichtungen eingesetzt werden können, können sie für neue Anwendungen genutzt werden, die mit drahtgebundenen Kommunikationssystemen nicht denkbar wären. Mobile Funkeinrichtungen, die Außendienstmitarbeiter mit sich führen, stellen eine weitere effektive Anwendung dar.

Funksysteme sollten nicht als allgemeiner Ersatz für drahtgebundene Systeme gesehen werden; bei zweckmäßiger Nutzung bringen sie allerdings für eine Vielzahl industrieller Anwendungen beachtliche Vorteile gegenüber drahtgebundenen Systemen. Sie bringen sowohl qualitative Vorteile, wie die vereinfachte Nutzung oder die erhöhte Flexibilität während der Einrichtung, als auch quantitativ bestimmbare Vorteile, wie geringere Einrichtungs- und Instandhaltungskosten, mit sich (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3 – Vorteile des Einsatzes von Funksystemen (1 von 2)

Anlagennetze	Anwendungsbeispiel	Vorteile	Vorteile für den Nutzer/Betreiber
Anlagenübergreifende Funknetze	Fernüberwachung	Unabhängig von Telefon-, Internet- und Netzverbindungen	• Geringer Planungsaufwand • Vereinfachtes Engineering • Höhere Flexibilität • Kosteneinsparungen im Betrieb durch geringere Verbindungsgebühren aufgrund reduzierter Hardware und optimierter Prozesse
	Wassersteuerungs-/Entwässerungssysteme	Einheitlicher Übertragungsweg (kein gemischter Betrieb von analog, ISDN, DSL, Standleitung)	
	Betrieb mobiler Aufbereitungsanlagen (z. B. Wasser)	Datenverfügbarkeit zu jeder Zeit und an jedem Ort ohne temporären Kabelanschluss	
	Überwachung verteilter Systeme	Keine dezentrale Prozesssteuerung erforderlich	
	Überwachung mobiler Logistikprozesse (z. B. Kran, Transporter)	Permanente Datenverfügbarkeit zur Optimierung des Managements der Lieferkette	

Tabelle 3 (2 von 2)

Anlagennetze	Anwendungsbeispiel	Vorteile	Vorteile für den Nutzer/Betreiber
Anlagenweite Funknetze	Regalbediengeräte, Elektrohängebahnen und fahrerlose Transportfahrzeuge	Vereinfachte Einrichtung, Wartungsfreiheit und größere Flexibilität im Vergleich zu Kabelleitungen und optischen Datenverbindungen	• Einfach erweiterbar • Erhöhte Verfügbarkeit • Höhere Flexibilität • Erhöhte Sicherheit für den Menschen • Verbesserte Ressourcenplanung • Kosteneinsparungen während der Einrichtung, im Betrieb und bei Reparaturen
	Portalkran	Keine Schleppketten erforderlich, dadurch keine Ausfälle durch Verschleißteile	
	Rundtischschaltmaschinen, Werkzeugwechsler	Viel weniger Schwachstellen aufgrund von Kabelleitungen oder lockeren Steckerverbindungen	
	Integration von E/A- und Serienschchnittstellen (z. B. Roboter)	Gewichtsreduktion aufgrund der Einsparung von Datenkabeln in der Kabelbahn	
	Gebäudevernetzung	Keine Erd- oder Verlegungsarbeiten erforderlich	
	Mobiler Betrieb	Einfache Nutzung und Einsparung zusätzlicher Bedienterminals	
	Lokalisierung von Personen und Betriebsmitteln	Position kann drahtlos ermittelt werden	
Sensor-/Aktor-Funknetze	Überwachung von Messpunkten (z. B. Temperatur)	Kein Verlegen von Datenkabeln und oft auch keine Stromleitungen auf Seiten des Feldgerätes	• Einfach erweiterbar • Erhöhte Verfügbarkeit • Höhere Flexibilität • Erhöhte Prozess- und Produktqualität dank zusätzlicher Sensoren • Kosteneinsparungen während der Einrichtung und im Betrieb
	Überwachung mobiler Messstationen	Kein An- und Abschluss temporärer Kabelanschlüsse	
	Rundtischschaltmaschinen, Werkzeugwechsler	Keine Schwachstellen aufgrund von Kabelleitungen oder lockeren oder defekten Steckerverbindungen	
	Anlagenweite Signalerkennung	Anschluss verteilter oder schwer zu erreichender Sensoren/Aktoren sowie schnelle Nachrüstung/schneller Umbau	
	Korrosionsüberwachung, Leckageüberwachung beim Rohrschweißen, Vibrationsüberwachung	Physischer Anschluss des Sensors ist unpraktisch (z. B. entlang eines Rohrs 5 m bis 10 m über der Erde)	

5.1.2.3 Bedenken beim Einsatz von Funksystemen

Auch wenn Funksysteme den Vorteil haben, dass keine Kabel verlegt werden müssen, bringt deren Implementierung neue Herausforderungen mit sich.

Ein Funkmedium weist keine klar definierte oder sichtbare Begrenzung auf. Der Pfad und die Merkmale der Funkausbreitung hängen deshalb stark von den Umgebungsbedingungen ab und Funkstörungen können aus allen Richtungen kommen.

Mehrere Funkkommunikationssysteme müssen einen gemeinsamen Bereich als Kommunikationsmedium teilen. Ein bestimmtes Frequenzband kann nicht in demselben Bereich zur selben Zeit von mehreren Kommunikationssystemen genutzt werden. Dieses Problem muss unter Einhaltung der Anforderungen an die industrielle Automatisierung gelöst werden.

Darüber hinaus treten die Kollisionen am Empfänger auf, während der Sender in der Regel nicht in der Lage ist, die Kollisionen am entsprechenden Empfänger zu erkennen.

5.1.3 Kommunikationsnetze in der industriellen Automatisierung

5.1.3.1 Allgemeines

Im Einzelfall hängen Anforderungen, Vorteile und Nutzen von Funksystemen in starkem Maße von der betrachteten Anwendung ab. Deshalb ist es hilfreich, diese in Anwendungsgebiete einzuteilen. Auf diese Weise können verschiedene Funksysteme angemessen miteinander und auch mit drahtgebundenen Lösungen verglichen werden.

Kommunikationsnetze für die industrielle Automatisierung können entlang der klassischen „Automatisierungspyramide“ (siehe Bild 3) grob eingeteilt werden.

Die verschiedenen Kommunikationsnetze sind:

- Unternehmensnetze;
- Anlagennetze;
- Feldbus.

Die Funktechnologie dient der Erweiterung dieser drei Arten von Netzen.

- a) Anlagenübergreifende Funknetze: Netze mit einer kleinen Anzahl von Komponenten, mit großer bis sehr großer räumlicher Ausdehnung und kleinen oder mittelgroßen Datenvolumen für die Fernwartung und Fernsteuerung.
- b) Anlagenweite Funknetze: Netze mit einer mittelgroßen Anzahl von Komponenten, mit begrenzter räumlicher Ausdehnung und kleinen bis sehr großen Datenvolumen, in Abhängigkeit von den Anforderungen der Anwendung.
- c) Sensor-/Aktor-Funknetze: Netze auf der Basis von Sensor- oder Aktorknoten, die auf Feldebene mit sehr kleinen Datenpaketen und einer sehr großen Anzahl von Komponenten betrieben werden.

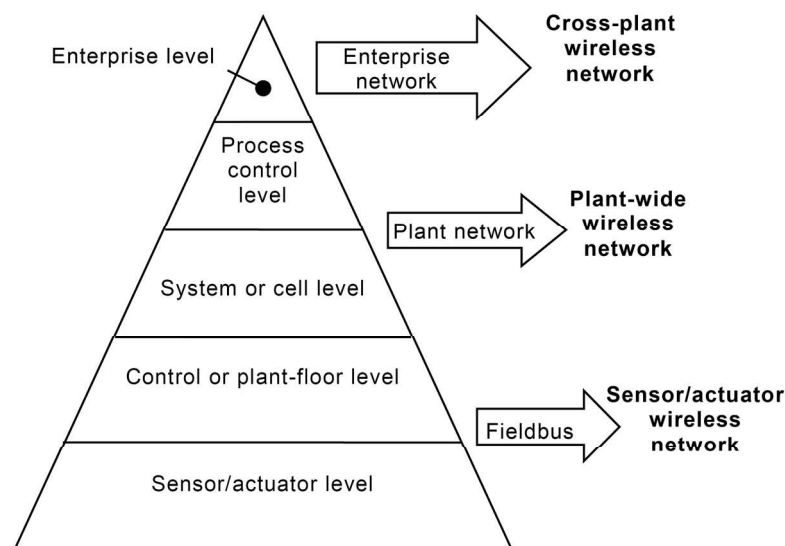


Bild 3 – Funkkommunikationssystem im Kontext der Automatisierungspyramide

5.1.3.2 Anlagenübergreifendes Funknetz

In erster Linie dient ein anlagenübergreifendes Netz der Überbrückung großer Entfernungen. Der Fernzugriff kann dabei auf stationäre Maschinen und Systeme sowie auf mobile Teilnehmer, z. B. Fahrzeuge, erfolgen. Die verwendete Datenrate spielt zunächst eine untergeordnete Rolle, wobei auch hier versucht wird, größtmögliche Bitraten zu erzielen. Es kann weiterhin zwischen gelegentlichem Datenaustausch, der für Fernsteuerungsanwendungen oft ausreicht (z. B. zeitweilige Übertragung von Messwerten) und kontinuierlichem Datenaustausch, welcher häufig für die Fernwartung erforderlich ist (wenn auch nur für eine begrenzte Zeitdauer), unterschieden werden.

Zusätzlich zu proprietären Funklösungen mit Reichweiten von nur wenigen Kilometern oder satellitengestützter Kommunikation werden GSM, GPRS, UMTS, LTE, EDGE und andere Funklösungen eingesetzt. Die Vorteile dieser Systeme liegen in der weltweiten Verfügbarkeit, wodurch Bandbreiten vergrößert und Kosten verringert werden.

5.1.3.3 Anlagenweites Funknetz

Anwendungen in diesem Anwendungsgebiet können in vier Teilbereiche untergliedert werden.

- Funkkommunikation zwischen stationären Teilnehmern (z. B. zwei Maschinen- oder Systemteilen, deren Verkabelung aufgrund der lokalen Bedingungen mindestens zweimal so teuer wäre);
- Funkkommunikation zu oder zwischen mobilen Teilnehmern (z. B. fahrerlosen Transportfahrzeugen);
- Funkkommunikation für die mobile Steuerung und Überwachung;
- Funkkommunikation für die Lokalisierung, d. h. für die Erkennung von Personen und Objekten mithilfe der entsprechenden Transponder.

Die Anforderungen an Datenrate, Echtzeitleistung und die maximale Anzahl von unterstützten Teilnehmern können sich in diesen vier Teilbereichen stark unterscheiden, da sie eng mit der zu implementierenden Anwendung verknüpft sind. Wenn nur einige wenige Signale mittels Funktechnologie übertragen werden sollen, genügt in der Regel ein dezentrales E/A-Modul mit einer integrierten Funkschnittstelle. Ist allerdings der Aufbau eines Breitband-Funknetzes erforderlich, z. B. um mehrere Steuersysteme, PCs oder mobile Bedienfelder miteinander zu verbinden, wäre ein WLAN das geeignete Funksystem. Ein zusätzlicher Vorteil dieses Systems liegt in der Möglichkeit, das Funknetz für mehrere Anwendungen zu nutzen, z. B. zur Weiterleitung von Videoströmen parallel zur Steuerung und Visualisierung von Daten.

Wenn zusätzlich auch sicherheitskritische Signale übertragen werden sollen, muss das Funksystem ein Sicherheitsprotokoll unterstützen können, z. B. muss es in Kombination mit WLAN oder Bluetooth zulassen, dass die Industrial-Ethernet-Standards nach IEC 61784-2 und deren funktionale Sicherheitsprofile nach IEC 61784-3 verwendet werden können.

5.1.3.4 Sensor-/Aktor-Funknetz

Dieses Funknetz ist häufig über Gateways (Protokollumsetzer) mit anderen Netzen, z. B. Ethernet, verbunden, da nur geringe Datenvolumen übertragen werden müssen.

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen für die Fertigungs- und die Prozessautomatisierung haben sich verschiedene Funknetze in der industriellen Automatisierung bewährt.

Während Sensor-/Aktornetze innerhalb der Fertigungsautomatisierung üblicherweise eine große Anzahl von kleinen Datenpaketen über kurze Entfernungen mit einem hohen Durchsatz verwenden, liegt der Hauptaspekt der Prozessautomatisierung in der Regel in der gesicherten Funkübertragung über weite Entfernungen.

Für Sensor-/Aktor-Funknetze gibt es bisher nur wenige Protokollstandards, die die Interoperabilität zwischen Geräten verschiedener Hersteller erlauben.

Anwendungen der Prozessautomatisierung verwenden Protokollstandards, die auf IEEE 802.15.4 basieren, wie IEC 62591 (WirelessHART®), IEC 62601 (WIA-PA), IEC 62734 (ISA100.11a), oder sogar proprietäre Protokolle.

Anwendungen der Fertigungsautomatisierung setzen Protokollstandards ein, die beispielsweise auf IEEE 802.15.1 [19], IEEE 802.11 [18], IEEE 802.15.4 [21] beruhen, oder auch proprietäre Protokolle.

5.1.4 Anwendungsgebiete

5.1.4.1 Allgemeines

Industrielle Automatisierungstechnologien weichen für die Fertigungsautomatisierung und die Prozessautomatisierung aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Anwendungen stark voneinander ab.

5.1.4.2 Prozessautomatisierung

Die Prozessautomatisierung ist vor allem durch Anwendungen im Bereich der Steuerung, Überwachung und Diagnose von Erhitzungs-, Kühlungs-, Misch-, Rühr- und Pumpverfahren gekennzeichnet.

Oft werden analoge Signale der Füllstands-, Temperatur- oder Drucküberwachung übertragen und ausgewertet. Diese ausgewerteten Messungen wurden zur Verfügung gestellt, um komplexe Anlauf- und Abschaltvorgänge für ein kontinuierliches Verfahren und ein Chargenverfahren zu automatisieren; des Weiteren dienen sie dazu, die Produktqualität zu kontrollieren und das Wechseln von Produkten für ein Chargenverfahren bei der Herstellung einer Vielzahl von Produkten in kleinen Mengen umzusetzen. In der Prozessautomatisierung ändern sich Messwerte nur sehr langsam; eine Stichprobenentnahme aller 100 ms über mehrere Sekunden ist für diese Anwendungen typisch. Diese Tatsache hat direkten Einfluss auf die Anforderungen an die Reaktionsgeschwindigkeiten der in der Prozessautomatisierung angewendeten Funktechnologien.

Die von Funk- und Sensorkomponenten benötigte Energie ist dementsprechend niedrig und kann oft durch dezentrale Versorgungseinheiten, wie Batterien oder sogenannte „Energy-Harvester“ (Energie wird aus Temperaturänderungen, Licht, Maschinenvibrationen oder dem Fluss von Medien gewonnen) bereitgestellt werden.

Für ein komplexes Prozessautomatisierungssystem sind große Funkübertragungsreichweiten erforderlich.

Ein Prozessautomatisierungssystem ist oft viel größer als die typischen Systeme in den Anlagen der Fertigungsautomatisierung. Eine große Reichweite ist deshalb eine wichtige Anforderung an Funknetze in diesem Bereich.

Die Anlagenstruktur verändert sich im Vergleich zur Fertigungsautomatisierung im Laufe der Zeit nur mäßig und dementsprechend wenig ändern sich auch die Bedingungen für die Netzabdeckung.

5.1.4.3 Fertigungsautomatisierung

Ein markantes Kennzeichen von Fertigungsautomatisierungsmaschinen und -systemen sind deren schnelle Produktionsprozesse. Dafür sind oft Maschinenbauteile innerhalb eines begrenzten Bereichs in Bewegung.

Kurze Betriebszyklen und eine ausfallsichere Übertragung von Sensor- und Aktorsignalen sind Voraussetzungen für schnelle Prozesse. Zykluszeiten von weniger als 10 ms sind üblich. Diese Eigenschaft der Fertigungsautomatisierung hat direkten Einfluss auf die Anforderungen an die Funktechnologien.

Schnelle Produktionsprozesse stellen höchste Anforderungen an Funklösungen.

Aufgrund ihrer begrenzten räumlichen Ausdehnung werden oft mehrere Funknetze innerhalb eines kleinen Bereichs errichtet.

Mithilfe von Funktechnologien können die unterschiedlichsten Anwendungen innerhalb der Fertigungsautomatisierung umgesetzt werden. Bisherige Implementierungen reichen vom drahtlosen Anschluss von Sensoren innerhalb einer Automatisierungszelle bis hin zur Kommunikation auf Feld- oder Steuerungsebene. Verschiedenartige Funklösungen stellen dabei Technologien bereit, die auf die entsprechenden Anforderungen an Reichweite, Zykluszeit und Anzahl von Teilnehmern ausgerichtet sind.

5.2 Anforderungen an Anwendungen der industriellen Automatisierung (Anwendungsfälle)

5.2.1 Allgemeines

In 5.2 sind einige Anwendungsfälle für den Einsatz von Funkkommunikation in industriellen Anwendungen beschrieben. Damit soll einerseits der Nutzen von Funkanwendungen dargestellt werden, andererseits sollen die technischen Anforderungen aus Sicht der Anwendung genannt werden. Die Hauptanforderungen sind alle in den in 5.2 beschriebenen Anwendungsfällen enthalten.

5.2.2 Anwendungsfall 1 – Sicherheit von Mitarbeitern in der Nähe von Transportmaschinen

5.2.2.1 Beschreibung

Dieser Anwendungsfall bezieht sich auf Transportmaschinen, die in Montagelinien im Innenbereich, z. B. für die Herstellung von Automobilen oder elektrischen Haushaltsgeräten, eingesetzt werden. Diese unbemannten Transportmaschinen sind auch unter dem Namen „fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF)“ bekannt. Einige fahrerlose Transportfahrzeuge, welche mithilfe von Funkkommunikation gesteuert werden, transportieren Bauteile und Komponenten und führen diese Stationen der Montagelinie zu. Die Fahrzeuge fahren prinzipiell auf dafür vorgesehenen Schienen; an manchen Orten müssen sie allerdings die Wege von Personen kreuzen. In diesen Kreuzungsbereichen muss ein Sicherheitsverriegelungsmechanismus aktiv sein, um die Sicherheit der Mitarbeiter zu gewährleisten.

Lichtgitter, Laser- oder Radar-Scanner auf dem Boden vor dem Fahrzeug erkennen, wenn Personen den Kreuzungsbereich betreten. Dieses Ereignis wird an eine Sicherheitssteuerung gemeldet, die die Situation erkennt und das sich dem Kreuzungsbereich nähernde Fahrzeug stoppt. Ein Kabelanschluss zum Fahrzeug wäre aufgrund der Bewegung auf den Schienen nicht praktisch, weshalb für die Kommunikation zwischen der Sicherheitssteuerung und dem Fahrzeug Funkkommunikationsmittel implementiert werden.

5.2.2.2 Folgen des Verlusts der Funktionalität

Fällt die Meldung einer Anforderung zum Anhalten des Fahrzeugs aus, fährt dieses unter Umständen in einen Kreuzungsbereich, in dem sich Personen befinden. In der Folge können Personen durch das Transportfahrzeug schwere Verletzungen erleiden. Das Fahrzeug selbst kann beschädigt werden. Darüber hinaus beeinträchtigt jede Art von Unfall den fortlaufenden Betrieb der Produktionslinie und führt zu Produktionsverlusten.

5.2.2.3 Kritische Anforderungen

Bei Ausfall des Kommunikationssystems sollte dieser Zustand erkannt und das Fahrzeug unmittelbar angehalten werden, auch wenn keine Meldung zum Stoppen durch die Steuerung ausgegeben wurde.

Ein schwerwiegender Ausfall ist der Fall, in dem der Fehlererkennungsmechanismus den Fehler nicht erkennen kann, der zur Änderung des Inhalts einer Anforderung führte. In einem solchen Fall könnte das Fahrzeug die Nachricht so interpretieren, als ob es keine Anforderung zum Anhalten unter gesunden Kommunikationsbedingungen empfangen hätte, und dies könnte zu einem Unfall führen.

Das Sicherheitskommunikationssystem umfasst üblicherweise Mechanismen mit einem gewissen Grad an Komplexität und entsprechender Fehlererkennungsfähigkeit, wie CRC, die allein aber nicht ausreichend sind. Um die geforderten Sicherheitsstufen, wie die in IEC 61508 festgelegten SIL-Level, zu erfüllen, sollte die Bitfehlerrate kleiner als ein bestimmter Wert abhängig von der Restfehlerrate des Fehlererkennungsmechanismus sein. Um die Bitfehlerrate unterhalb des zulässigen Werts halten zu können, muss das Kommunikationssystem über ausreichend Immunität gegen elektromagnetische Strahlung verfügen.

Die Verzögerung der Kommunikation spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Wenn die Reaktionszeit von der Erkennung eines Ereignisses durch das Lichtgitter bis zum Anhalten des Fahrzeugs kürzer als die Prozesssicherheitszeit ist, welche der maximal zulässigen Reaktionsverzögerung für den Zielprozess entspricht, kann es zu einem Unfall kommen.

5.2.3 Anwendungsfall 2 – Füllstandsüberwachung und Alarmierung in einem Tanklager

5.2.3.1 Beschreibung

Dieser Anwendungsfall bezieht sich auf ein Tanklager, in dem sich mehrere riesige Tanks über ein Gebiet von mehreren Quadratkilometern verteilt befinden. Diese Tanks können gefährliche Stoffe, z. B. Brennstoffe oder Giftstoffe, beinhalten. Die Füllstandsüberwachung und die dazugehörige Alarmierung sind zur Vermeidung des Freiwerdens der Stoffe unerlässlich.

Ein Tanklager erstreckt sich über ein weites Gebiet, weshalb eine Verkabelung, insbesondere nur für die Füllstandsüberwachung, sehr kostspielig wäre.

Die Funkkommunikation umgeht die Problematik der großen elektrischen Spannungsunterschiede zwischen Kommunikationseinrichtungen, die bei Gewitter in der Nähe eines Tanklagers oder über einem Tanklager auftreten können.

Wenn die Kommunikation in Tanklagern über Funkgeräte erfolgt, die keine externe Stromversorgung benötigen, ist eine Verkabelung zum Senken der Unterschiede der elektrischen Spannung hinfällig.

In solchen Fällen ist die Funkkommunikation sehr effektiv.

5.2.3.2 Folgen des Verlusts der Funktionalität

Wenn die Überwachungs- und Alarmierungsfunktionen aufgrund von Kommunikationsfehlern nicht ordnungsgemäß arbeiten, könnte ein Tank überlaufen.

Das Freiwerden giftigen Inhalts kann die Gesundheit der Mitarbeiter beeinträchtigen und auch schwerwiegende Umweltprobleme hervorrufen. Das Überfließen von Brennstoffen könnte zu Explosionen oder

Brandkatastrophen führen. Derartige Unfälle verursachen Schäden an der Fertigungsanlage sowie Materialverlust und haben erhebliche finanzielle Verluste zur Folge.

Die Optimierung des Inventars stellt einen weiteren wichtigen Aspekt der Füllstandsüberwachung dar. Da die Lagerung einiger bestimmter Stoffe in Tanks sehr teuer ist, wird empfohlen, diese Lagerbestände zu reduzieren, um Produktionskosten einzusparen.

5.2.3.3 Kritische Anforderungen

Um das gesamte Gebiet einer Tankanlage abzudecken, ist ein Funk mit großer Reichweite erforderlich. In einigen Fällen befinden sich mehrere Metallstrukturen zwischen den Kommunikationsknoten, wodurch Dämpfung und Mehrwegeverzerrung verursacht werden kann. Aus diesem Grund ist eine bessere Funkausbreitung erforderlich. Einzelne Tanks weisen möglicherweise eine sehr starke Struktur auf, die die Funkausbreitung behindern kann. In den Fällen, in denen keine Sichtverbindung zum Standort der Füllstandssensoren besteht, können die Hindernisse mithilfe einer Maschentopologie umgangen werden.

5.2.4 Anwendungsfall 3 – Unterstützung von Außendienstmitarbeitern durch mobile Funkeinrichtungen

5.2.4.1 Beschreibung

Außendienstmitarbeiter der Prozessindustrie sind für den Schutz oder die Instandhaltung von weiten Flächen von Außenanlagen zuständig. Diese Mitarbeiter müssen sich bei der Durchführung ihrer Aufgaben, z. B. Instandhaltung des Prozessbetriebs und der Betriebsmittel, auf Dokumente mit Standardarbeitsanweisungen (SOP) beziehen. Ohne intelligente Kommunikationsmittel müssten sie schwere Hefter mit SOP mit sich führen. Das Instandhaltungspersonal braucht möglicherweise Handbücher von Einrichtungen, welche graphische Informationen beinhalten. Funkkommunikationssysteme sind für diese Anwendungen nützlich, weil eine Kabelverbindung für mobile Außendienstmitarbeiter unpraktisch ist.

Eine Person, die Prozessbedingungen überprüft, benötigt möglicherweise Informationen zu einem DCS-System, z. B. Schleifenkonfigurationen und historische Trenddaten, um Prozessbedingungen anhand von Messwerten bestimmen zu können. Für die Bereitstellung derartiger Informationen wird ein drahtloser Zugriff auf das DCS benutzt. In diesem Fall sollten Kommunikationsverzögerungen so kurz wie möglich sein, damit aktuelle Daten zu den derzeitigen Prozessbedingungen angezeigt werden.

Gelegentlich ist auch die Sprachübertragung zwischen Außendienstmitarbeitern und Technikern im Leitstand erforderlich. Der Techniker im Leitstand hat schnellen Zugriff auf eine große Menge von Informationen und kann Außendienstmitarbeiter unterrichten, welche über begrenzte Informationen verfügen. Zur Unterstützung von Außendienstmitarbeitern könnten sogar Videoinformationen genutzt werden. Von einem Außendienstmitarbeiter aufgezeichnete und an den Leitstand gesendete Videodaten können Technikern helfen, die Situation zu verstehen und Anweisungen zu geben.

In Notfallsituationen trägt ein Funkkommunikationssystem zur Sicherheit der Außendienstmitarbeiter bei. Neben der Bereitstellung der Sprachübertragung unterstützt ein Echtzeit-Lokalisierungssystem dabei, Standort, Bewegung und Status des Mitarbeiters zu ermitteln.

5.2.4.2 Folgen des Verlusts der Funktionalität

Wenn das Funkkommunikationssystem ausfällt, sinkt die Effektivität von Außendienstmitarbeitern drastisch und die Sicherheit kann erheblich beeinträchtigt sein.

5.2.4.3 Kritische Anforderungen

Das Funkkommunikationssystem sollte das gesamte Gebiet abdecken, in dem sich die Außendienstmitarbeiter bewegen können. Um die entsprechende Funkreichweite zu erreichen, kann eine Maschennetztopologie erforderlich sein.

Für Graphiken, Bilder und die Übertragung von Sprach- und Videodaten ist eine beachtliche Funkkommunikationsbandbreite nötig.

Die Funkkommunikationseinrichtungen, die Außendienstmitarbeiter mit sich führen, sollten leicht und ausreichend autonom sein, d. h. der Stromverbrauch sollte verringert werden, damit das Batteriegewicht reduziert und das Batterieleben verlängert werden kann.

5.2.5 Anwendungsfall 4 – Vibrationsüberwachung und Analyse bei rotierenden Maschinen

5.2.5.1 Beschreibung

Dieser Anwendungsfall bezieht sich auf zustandsorientierte Instandhaltung. Da sich das Vibrationsmuster der meisten rotierenden Maschinen mit dem Verschleiß verändert, kann die Überwachung der Vibrationen dazu genutzt werden, den Zeitpunkt für die Instandhaltung zu ermitteln. In einigen Fällen ist eine Kabelverbindung zum Vibrationssensor aufgrund seiner Bewegung unpraktisch. In anderen Fällen gibt es so viele Messpunkte, dass eine Verkabelung zu teuer wäre. Zur Lösung dieser Probleme kann ein Funkkommunikationssystem eingesetzt werden.

5.2.5.2 Folgen des Verlusts der Funktionalität

Wenn keine Zustandsüberwachung mittels Funkkommunikation zur Verfügung steht, basieren die Instandhaltungsarbeiten gezwungenermaßen auf einem geschätzten Zeitplan. Dadurch wächst die Häufigkeit der Instandhaltung in der Regel, während sich das Risiko unerwarteter Abschaltungen aufgrund von nicht erkannten Schäden an Einrichtungen ebenfalls erhöht.

5.2.5.3 Kritische Anforderungen

Das Datenvolumen von Vibrationsmustern ist in der Regel relativ hoch. In einigen Fällen ist für die Alarmierung eine Echtzeitüberwachung nötig. Dafür sind eine erhebliche Bandbreite und Echtzeitfunktionalität erforderlich.

5.2.6 Anwendungsfall 5 – Überwachung und Steuerung von Öl-Bohrlochköpfen

5.2.6.1 Beschreibung

Dieser Anwendungsfall bezieht sich auf Öl-Bohrlochköpfe, die auf großen Ölfeldern verteilt sind. Druck und Flussrate der Ausstoßung des Erdöls verändern sich in Abhängigkeit vom Zustand des Ölfelds. Um das Gesamtproduktionsvolumen von Öl aus mehreren Bohrlöchern zu steuern, sollten die an jedem Bohrloch angebrachten Ventile entsprechend dem Zustand angepasst werden, der durch Flussrate, Druck und Temperatur angezeigt wird.

Öl-Bohrlöcher sind in der Regel weit verstreut und werden unbemannt betrieben. Die Begehung eines jeden Bohrlochs zur Prüfung seines Zustands und zur Anpassung ist zeitaufwendig und ineffizient. Die Einrichtung eines drahtgebundenen Kommunikationssystems wäre aufgrund der Verteilung der Bohrlöcher über ein großes Gebiet unpraktisch. Deshalb könnte ein Funkkommunikationssystem eine effektive Lösung darstellen. Der Zustand der einzelnen Bohrlöcher kann auf diese Weise aus der Ferne überwacht werden. Auch die Anpassung der Ventile kann ferngesteuert erfolgen. Somit kann die Häufigkeit von Begehungen von Bohrlöchern drastisch gesenkt werden.

5.2.6.2 Folgen des Verlusts der Funktionalität

Wenn die Funkkommunikation nicht verfügbar ist, steigt die Häufigkeit der Begehungen der Bohrlochköpfe und die Optimierung der Produktraten kann nicht erzielt werden.