

## Funklösungen in der Automation

Überblick und Entscheidungshilfen



## Funklösungen in der Automation

### Überblick und Entscheidungshilfen

#### Herausgegeben vom:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e.V.  
Fachverband Automation  
Lyoner Straße 9  
60528 Frankfurt am Main

#### Ansprechpartner:

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

#### Autoren:

|                 |  |
|-----------------|--|
| Markus Bregulla | Hans Turck GmbH & Co.KG                      |
| Wolfgang Feucht | Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG |
| Jochen Koch     | Siemens AG                                   |
| Gernot de Mür   | Pepperl+Fuchs GmbH                           |
| Markus Schade   | Weidmüller Interface GmbH & Co. KG           |
| Jürgen Weczerek | PHOENIX CONTACT ELECTRONICS GmbH             |
| Jörg Wenzel     | Pepperl+Fuchs GmbH                           |

#### Design:

NEEDCOM GmbH  
www.needcom.de

#### Druck:

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

1. Auflage, März 2011

Trotz größtmöglicher Sorgfalt keine Haftung für den Inhalt.

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

Diese Broschüre wurde vom Arbeitskreis „Wireless in der Automation“ im ZVEI-Fachverband Automation erstellt.  
Der Teilnehmerkreis besteht aus Mitarbeitern folgender Unternehmen und Institute:





# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Anforderungen an industrielle Funklösungen</b>          | <b>4</b>  |
|          | 2.1 Fertigungsautomation                                   | 4         |
|          | 2.2 Prozessautomation                                      | 5         |
|          | 2.3 Anwendungsfelder von Funksystemen                      | 5         |
| <b>3</b> | <b>Kosten-Nutzen-Aspekte und Vorteile in der Anwendung</b> | <b>8</b>  |
|          | 3.1 Faktoren zur Kosten-Nutzen-Betrachtung                 | 8         |
|          | 3.2 Vorteile durch den Einsatz von Funk                    | 8         |
| <b>4</b> | <b>Technische Aspekte der Systemauswahl</b>                | <b>10</b> |
|          | 4.1 Planung von Funksystemen                               | 10        |
|          | 4.1.1 Koexistenz   | 10        |
|          | 4.1.2 Reichweitenbeeinflussung                             | 11        |
|          | 4.1.3 Internationale Betriebszulassung                     | 11        |
|          | 4.2 Energieversorgung von Funksystemen                     | 12        |
|          | 4.3 Projektierung von Funksystemen                         | 12        |
| <b>5</b> | <b>Wissenswertes über Funk</b>                             | <b>13</b> |
|          | 5.1 Zuverlässigkeit  | 13        |
|          | 5.2 Wireless Safety  | 13        |
|          | 5.3 Wireless Security                                      | 14        |
|          | 5.4 Medizinische Betrachtung                               | 14        |
|          | 5.5 Planungs- und Diagnose-Tools                           | 14        |
| <b>6</b> | <b>Fazit</b>   | <b>15</b> |
|          | <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                               | <b>15</b> |
|          | <b>Literatur</b>   | <b>15</b> |

## 1 Einleitung

Moderne Applikationen der Automatisierungstechnik setzen zunehmend Funktechnologien zur Übertragung von Daten ein. Trotz der vorsichtigen Haltung – wie sie neuen Technologien in der Automatisierungstechnik oft entgegengebracht wird – wächst die Akzeptanz von Funksystemen immer schneller. Längst ist die Funktechnologie den Kinderschuhen entwachsen und findet mehr und mehr Anwendung in der Prozess- wie auch in der Fertigungsautomation. Funksysteme nutzen für die Übertragung von Prozess- und Diagnosedaten überwiegend die lizenzfreien ISM-Frequenzbänder (Industrial, Scientific and Medical). Am Markt haben sich durch unterschiedliche Anforderungen, beispielsweise hinsichtlich Übertragungsgeschwindigkeit und zu überbrückender Distanzen, verschiedene Funktechnologien etabliert.

Diese Broschüre verschafft einen Überblick über den Einsatz von Funksystemen im industriellen Umfeld in verschiedenen Anwendungsfeldern. Durch die Betrachtung sowohl wirtschaftlicher als auch technischer Aspekte soll der Leser bei der Auswahl von Funksystemen und der Planung seiner Anwendung unterstützt werden. Hierzu werden Vorteile, aber auch Randbedingungen der Verwendung von Funk aufgezeigt.

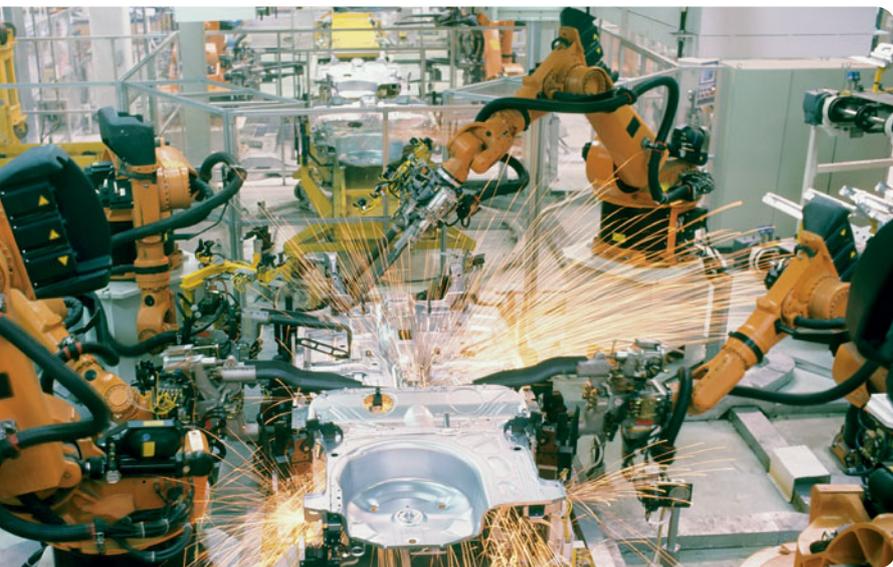
## 2 Anforderungen an industrielle Funklösungen

Die industrielle Automatisierungstechnik kann in die Bereiche Fertigungs- und Prozessautomation unterteilt werden. In beiden Bereichen gibt es charakteristische und zugleich sehr unterschiedliche Anforderungen an Steuerungs- und Feldgeräte sowie Kommunikationssysteme und deren Topologien. Diese Unterschiede wirken sich gleichermaßen auf Lösungen im Bereich der Funktechnologien aus.

**2.1 Fertigungsautomation** Maschinen und Anlagen der Fertigungsautomation sind gekennzeichnet durch schnelle Produktionsvorgänge. Häufig findet man bewegte Maschinenteile und eine räumlich begrenzte Anlage (siehe Abbildung 1).

Schnelle Vorgänge bedingen kurze Schaltzyklen und erfordern eine störstichere Übertragung der Sensor- und Aktorsignale. Diese Anforderungen werden damit ebenso an Funklösungen in diesem Bereich gestellt. Zykluszeiten von unter 10 ms sind durchaus üblich.

**Abbildung 1: Typische Applikation in der Fertigungsautomation – schnelle Produktionsvorgänge stellen höchste Anforderungen an Funklösungen**



Aufgrund der räumlich begrenzten Ausdehnung sind oftmals verschiedene Funknetzwerke auf engem Raum in Betrieb.

Funktechnologien können in der Fertigungsautomation vielfältige Applikationen abdecken. Von der Funkanbindung von Sensoren in einer Automatisierungszelle bis zur Kommunikation auf der Feld- oder Steuerungsebene sind Einsatzfälle bereits realisiert. Diversifizierte Funklösungen bringen dabei Technologien mit, welche auf die jeweiligen Anforderungen nach Reichweite, Zykluszeit und Teilnehmeranzahl ausgerichtet sind.

Industrielle Anlagen erfordern zuverlässige Kommunikation. Funklösungen müssen dabei unterschiedliche Anforderungen erfüllen, abhängig von der jeweiligen Anwendung. Dazu ist eine grobe Unterscheidung der Anforderungen in der Fertigungs- und Prozessautomation sinnvoll.

## 2.2 Prozessautomation

Die Prozessautomation ist maßgeblich durch Applikationen im Bereich Überwachung und Diagnose von Heiz-, Kühl-, Misch-, Rühr- oder Pumpvorgängen charakterisiert.

Meist müssen analoge Signale von Füllstands-, Temperatur- oder Drucküberwachungen übertragen und ausgewertet werden. Die relativ langsamen Messwertänderungen erlauben entsprechend große Zykluszeiten für die Abfrage der Daten durch das Leitsystem. Zeiten zwischen 100 ms und mehreren Sekunden sind hier üblich. Damit sind auch die Anforderungen bezüglich der Reaktionsgeschwindigkeiten für Funktechnologien in diesem Bereich vorgegeben.

Der notwendige Energiebedarf von Funk- und Sensorkomponenten ist entsprechend gering und kann häufig von dezentralen Versorgungseinheiten wie Batterien oder sogenannten Energy Harvestern (z. B. Energiegewinnung aus Temperaturunterschieden, Licht, Maschinenvibration oder aus Mediendurchfluss) übernommen werden.

### Abbildung 2: Typische Applikation in der Prozessautomation – große Anlagenausdehnung erfordert große Reichweiten bei der Funkübertragung



Die Anlagengröße in der Prozessautomation entspricht einem Vielfachen der Ausdehnung typischer Fertigungsautomations-Anlagen (siehe Abbildung 2). Deshalb ist eine hohe Reichweite eine wichtige Forderung für Funknetzwerke in diesem Bereich.

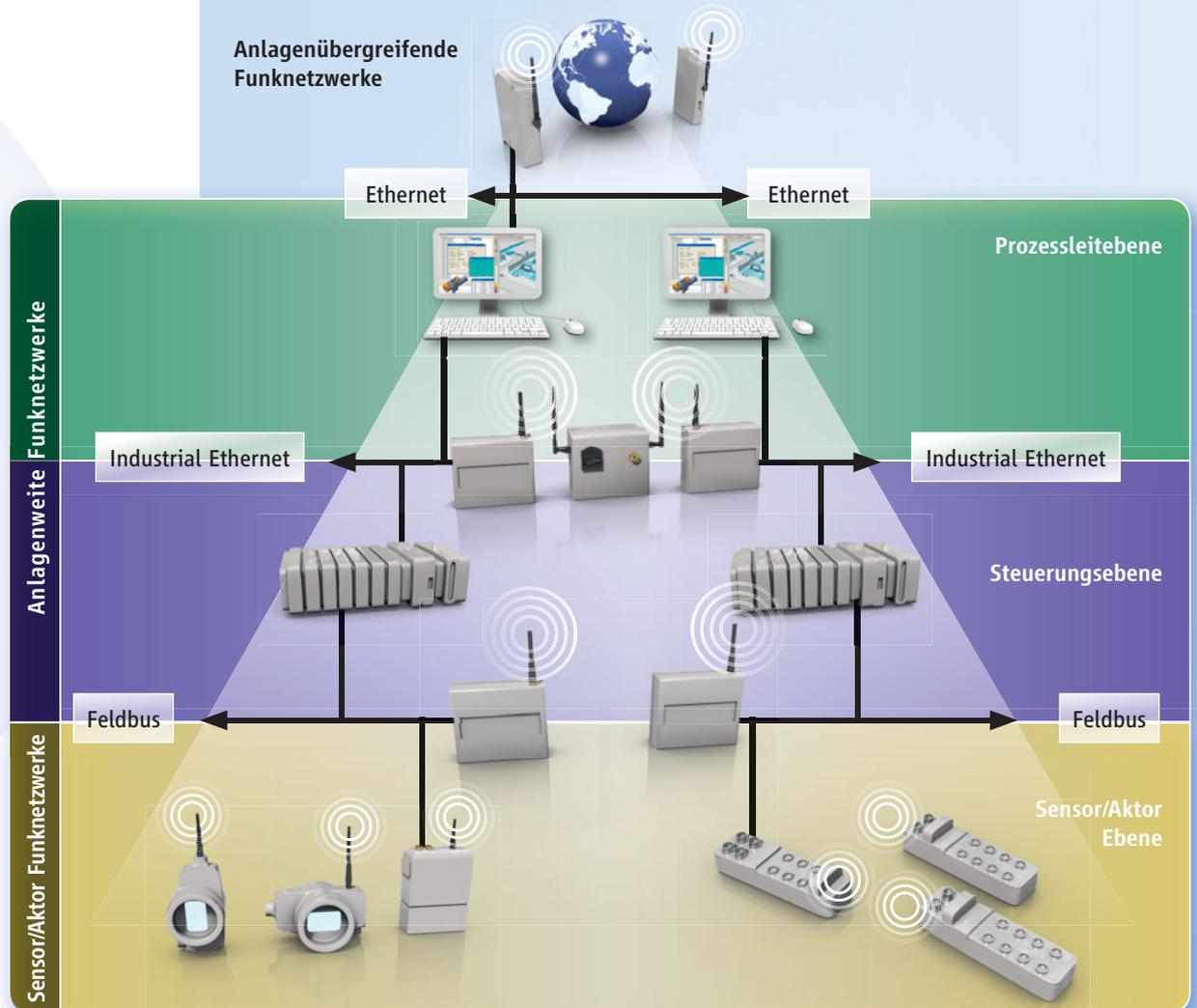
Das Anlagenumfeld ändert sich über die Zeit nur mäßig, womit nahezu konstante örtliche Bedingungen gegeben sind.

## 2.3 Anwendungsfelder von Funksystemen

Anforderungen, Vorteile und Nutzen von Funksystemen hängen im Einzelfall stark von der betrachteten Anwendung ab. Aus diesem Grund ist es ratsam, sie nach Anwendungsfeldern zu trennen. Dies ermöglicht einen geeigneten Vergleich mit anderen Funksystemen, aber auch mit herkömmlichen Kabellösungen. Dienlich ist hierfür eine Unterteilung in drei Anwendungsfelder, welche sich in die klassische „Automatisierungspyramide“ einfügen (siehe Abbildung 3 und 4).

1. Anlagenübergreifende Funknetzwerke: Datenaustausch über große bis sehr große Entfernungen mit kleinen bis mittleren Datenmengen bei Anwendungen für das Fernwarten und Fernwirken
2. Anlagenweite Funknetzwerke: Netzwerke mit beschränkter Ausdehnung und kleinen bis sehr großen Datenmengen, abhängig von den Applikationsanforderungen
3. Sensor-/Aktor-Funknetzwerke: Sensor-/Aktorkommunikation in der Feldebene mit sehr geringen Datenmengen

Abbildung 3: Anwendungsfelder von Funksystemen innerhalb der „Automatisierungspyramide“



#### Anwendungsfeld 1 – Anlagenübergreifende Funknetzwerke

Hier geht es in erster Linie um das Überbrücken großer Entfernungen. Dabei kann ein Fernzugriff sowohl auf stationäre Maschinen und Anlagen als auch auf mobile Teilnehmer erfolgen, beispielsweise Fahrzeuge. Die nutzbare Datenrate spielt deshalb zunächst eine untergeordnete Rolle, wobei die Bestrebungen natürlich auch hier in Richtung möglichst hoher Datenraten gehen. Unterschieden werden kann zudem zwischen dem gelegentlichen Datenaustausch, wie er häufig bei Fernwirkapplikationen ausreichend ist (z. B. sporadische Übertragung von Messwerten), und dem kontinuierlichen Datenaustausch, der – wenn auch oftmals nur für einen begrenzten Zeitraum – vor allem bei der Fernwartung benötigt wird.

Neben einigen proprietären Funklösungen mit Reichweiten von wenigen Kilometern oder der satelliten-gestützten Kommunikation hat sich für das Anwendungsfeld 1 das „Mobilfunk-Trio“ GSM, GPRS und UMTS durchgesetzt. Weltweite Verfügbarkeit, wachsende Bandbreite und sinkende Kosten sind die entscheidenden Vorteile.

#### Anwendungsfeld 2 – Anlagenweite Funknetzwerke

Anwendungen in diesem Umfeld können in vier Teilbereiche gegliedert werden:

1. Drahtlose Kommunikation zwischen stationären Teilnehmern (z. B. zwei Maschinen oder Anlagenteile, bei denen eine Verkabelung aufgrund örtlicher Gegebenheiten sehr aufwändig ist)
2. Drahtlose Kommunikation zu oder zwischen mobilen Teilnehmern (z. B. fahrerlose Transportsysteme)
3. Mobiles Bedienen und Beobachten
4. Drahtlose Lokalisierung, also das Orten von Personen und Objekten mit Hilfe entsprechender Transponder

In diesen vier Teilbereichen können die Anforderungen bzgl. Datenrate, Echtzeitverhalten und maximaler Anzahl unterstützter Teilnehmer stark variieren, da sie sehr eng mit der zu realisierenden Applikation verbunden sind. Sollen nur wenige Signale drahtlos übertragen werden, genügt meist eine dezentrale Peripheriebaugruppe mit integrierter Funkschnittstelle. Ist hingegen eine breitbandige drahtlose Netzwerkerweiterung erforderlich, beispielsweise zur Anbindung von mehreren Steuerungen, PCs oder mobilen Bediengeräten, bietet sich WLAN als geeignetes Funksystem an. Weiterer Vorteil dieses Systems ist die Möglichkeit, das Funknetzwerk für mehrere Anwendungen zu verwenden, beispielsweise für die Weiterleitung von Videostreams parallel zu Steuer- und Visualisierungsdaten.

Besteht darüber hinaus Bedarf an der Übertragung sicherheitskritischer Signale, ist die Unterstützung eines Safety-Protokolls durch das Funksystem essentiell, was z. B. mit der Kombination aus WLAN oder Bluetooth, dem Industrial-Ethernet-Standard PROFINET und dessen PROFIsafe-Profil möglich ist (siehe Kapitel 5.2).

### Anwendungsfeld 3 – Sensor- / Aktor-Funknetzwerke

Diese Funksysteme werden häufig über Gateways (Protokollumsetzer) in andere Netzwerke, wie z. B. Ethernet, eingebunden, da sie nur geringe Datenmengen übertragen müssen.

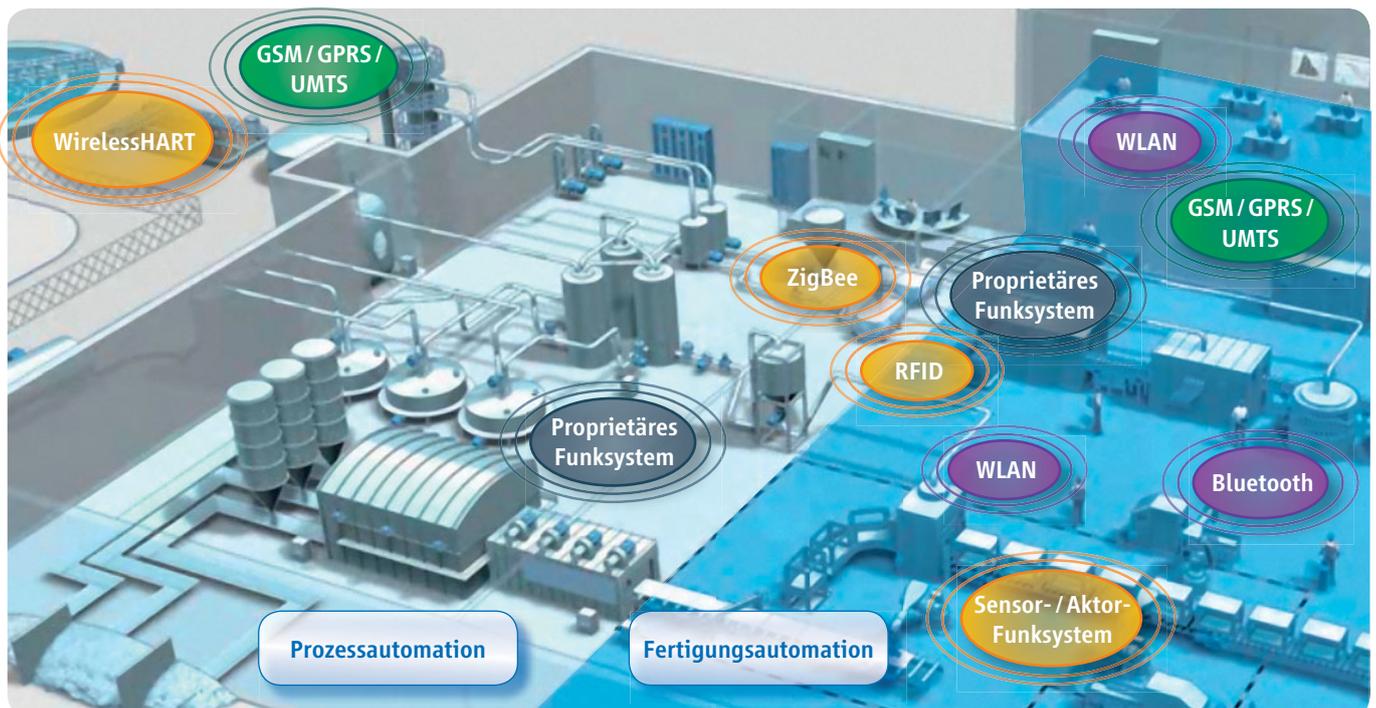
Durch unterschiedliche Anforderungen in der Fertigungs- und Prozessautomation haben sich verschiedene Funksysteme in den beiden Industriezweigen etabliert. Während Sensor-Aktor-Systeme in der Fertigungsautomation eine große Anzahl von Signalen auf engem Raum nutzen sowie sehr schnell und mit hoher Taktrate Informationen liefern müssen, steht bei der Prozessautomation die gesicherte Funkübertragung über große Distanzen im Vordergrund.

Für Funksysteme des Anwendungsfelds 3 sind bisher wenige Protokollstandards verfügbar, die eine Interoperabilität zwischen Geräten unterschiedlicher Hersteller zulassen.

Für den Bereich der Fertigungsautomation arbeitet die PROFIBUS Nutzerorganisation (PNO) an einem geeigneten Standard für Sensor-/Aktor-Funksysteme, aufsetzend auf der physikalischen Basis von Bluetooth (IEEE 802.15.1).

Die Prozessautomation verwendet Protokollstandards, die auf IEEE 802.15.4 basieren, wie beispielsweise WirelessHART, oder auch proprietäre Protokolle auf Basis der ZigBee-Technologie.

Abbildung 4: Funktechnologien der drei Anwendungsfelder im beispielhaften Einsatz in der Automation





## Kosten-Nutzen-Aspekte und Vorteile in der Anwendung

Im Rahmen der Überlegungen, ob ein industrielles Funksystem genutzt werden soll, ist vor der Berücksichtigung technischer Kriterien zunächst zu prüfen, ob der Einsatz wirtschaftlich ist und welche Vorteile dadurch tatsächlich entstehen.

### 3.1 Faktoren zur Kosten-Nutzen-Betrachtung

Die Anwendungsmöglichkeiten industrieller Funksysteme sind vielfältig und eröffnen zahlreiche Vorteile. Um diese für sich als Anwender oder Betreiber selbst ermitteln zu können, ist es notwendig, die verschiedenen Lebenszyklusphasen einer Anlage und die für den Einsatz in Frage kommenden Kommunikationssysteme zu betrachten. Dazu ist es hilfreich, die folgenden Faktoren näher zu beleuchten und diese für den Vergleich von Funksystemen innerhalb eines Anwendungsfelds bzw. für den Vergleich mit drahtgebundenen Alternativen heranzuziehen:

#### Quantitative Faktoren:

- Kosten für das Engineering, z. B. für die Planung, Geräteparametrierung und -programmierung  
→ Dieser Kostenfaktor ist stark abhängig vom jeweiligen Funksystem, da einfachere Systeme oftmals nur eingeschaltet werden müssen, andere – komplexere – Systeme aber eine relativ aufwändige Geräteparametrierung erfordern, um eine zuverlässige und leistungsfähige Kommunikation zu ermöglichen.
- Material- und Gerätekosten, z. B. für Schleifleiter und Kontaktabnehmer gegenüber Access Points und Antennen  
→ Die Kosten für Material und Geräte sind für beide Systemarten (funkbasiert und kabelgebunden) in etwa gleich anzusehen.
- Installationskosten, z. B. für die Montage (Kabelverlegung gegenüber Antennenmontage)  
→ Die Kosten für ein Funksystem sind im Vergleich zum kabelgebundenen System häufig niedriger.
- Betriebs-/Wartungskosten, z. B. durch Verschleiß bedingte Kosten für Reinigung, Reparatur und Austausch, aber auch damit verbundene Ausfallkosten  
→ Dieser Punkt bietet das größte Einsparpotenzial bei der Verwendung von Funksystemen.

#### Qualitative Faktoren:

- Anlagenverfügbarkeit: eine sorgfältig geplante und durchgeführte Funkinstallation erreicht bei dauerhafter Sicherstellung der Koexistenz den gleichen Verfügbarkeitsgrad wie eine verkabelte Lösung und einen höheren als z. B. Schleifleiterlösungen
- Produkt-/Prozessqualität: durch zusätzliche Sensoren, die drahtgebunden nicht wirtschaftlich wären, lassen sich weitere Messwerte gewinnen und z. B. die Ausschussrate in der Produktion reduzieren sowie Prozesse optimieren
- Leistungsfähigkeit der Kommunikationsinfrastruktur: es ist zu berücksichtigen, dass der Anschluss der benötigten Teilnehmerzahlen sowie die erforderlichen Datenraten unterstützt werden
- Erweiterbarkeit/Flexibilität der Kommunikationsinfrastruktur: d.h. wie gut lässt sich das System um zusätzliche Teilnehmer erweitern bzw. umbauen

All diese Faktoren können im konkreten Fall durch den Anwender „zusammengerechnet“ und verglichen werden, um zu ermitteln, ob die Nutzung eines Funksystems im jeweiligen Fall sinnvoll ist und welches System verwendet werden sollte.

### 3.2 Vorteile durch den Einsatz von Funk

Funksysteme sollten zwar nicht als genereller Kabelersatz erachtet werden, doch gezielt eingesetzt bringen sie in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen erhebliche Vorteile gegenüber kabelgebundenen Systemen. Sie bieten sowohl qualitativen Nutzen, wie erhöhten Bedienkomfort oder größere Flexibilität bei der Installation, als auch quantifizierbaren Nutzen, z. B. geringere Installations- und Wartungskosten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Anwendungsbeispiele in den drei Anwendungsfeldern von Funksystemen

| Anwendungsfeld                             | Anwendungsbeispiel  | Vorteile  | Anwender- /<br>Betreibernutzen   |
|--|---|---|--|
| 1<br>Anlagenübergreifende<br>Funknetzwerke | Fernwartung   | Keine Abhängigkeit von Telefon-, Internet- und Netzwerkanschlüssen  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringer Planungsaufwand</li> <li>• Vereinfachtes Engineering</li> <li>• Höhere Flexibilität</li> <li>• Kosteneinsparungen im Betrieb, bei den Verbindungsentgelten, durch reduzierte Hardware und optimierte Prozesse</li> </ul>   |
|  | Steuern von Wasser- / Abwassersystemen                                | Einheitlicher Kommunikationsweg (kein Mischbetrieb analog, ISDN, DSL, Standleitung)                       |  |
|  | Betrieb mobiler Aufbereitungsanlagen (z. B. Wasser)                   | Datenverfügbarkeit zu jeder Zeit und an jedem Ort ohne temporäre Kabelinstallation                        |  |
|  | Überwachung dezentraler Anlagen                                       | Einsparung dezentraler Prozessrechner   |  |
|  | Überwachung mobiler Logistikprozesse (z. B. Krane, LKW)               | Ständige Datenverfügbarkeit zur Optimierung des Lieferketten-Managements                                  |  |
| 2<br>Anlagenweite Funknetzwerke            | Regalbediengeräte, Elektrohängebahnen und fahrerlose Transportsysteme | Einfachere Installation, wartungsfrei und höhere Flexibilität ggü. Schleifleitern und Datenlichtschranken | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Erweiterbarkeit</li> <li>• Erhöhte Verfügbarkeit</li> <li>• Höhere Flexibilität</li> <li>• Gesteigerte Sicherheit für Personen</li> <li>• Bessere Ressourcenplanung</li> <li>• Kosteneinsparungen bei der Installation, im Betrieb und bei der Instandhaltung</li> </ul> |
|  | Portalkran  | Verzicht auf Schleppketten vermeidet verschleißbedingte Ausfälle  |  |
|  | Rundtaktmaschinen, Werkzeugwechsler                                   | Keine Schwachstellen durch Schleifleiter oder gelöste Steckverbindungen                                   |  |
|  | Einbindung von I/O- und seriellen Schnittstellen (z. B. Roboter)      | Gewichtsreduzierung durch Einsparung von Datenleitungen in Schlauchpaketen                                |  |
|  | Gebäudevernetzung   | Keine Erd- und Verlegearbeiten notwendig  |  |
|  | Mobiles Bedienen  | Hoher Bedienkomfort und Einsparung zusätzlicher Bedienterminals   |  |
|  | Ortung von Personen und Gerätschaften                                 | Positionsbestimmung durch Funklokalisierung   |  |
| 3<br>Sensor- /Aktor-<br>Funknetzwerke      | Überwachung von Messstellen (z. B. Temperatur)                        | Keine Verlegung von Datenleitungen und häufig auch keine Energieleitungen auf Seite des Feldgeräts        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Erweiterbarkeit</li> <li>• Erhöhte Verfügbarkeit</li> <li>• Höhere Flexibilität</li> <li>• Erhöhte Prozess- und Produktqualität durch zusätzliche Sensoren</li> <li>• Kosteneinsparungen bei der Installation und im Betrieb</li> </ul>                                  |
|  | Überwachung mobiler Messstationen                                     | Kein Auf- und Abbau temporärer Kabelinstallationen  |  |
|  | Rundtaktmaschinen, Werkzeugwechsler                                   | Keine Schwachstellen durch Schleifleiter oder gelöste bzw. defekte Steckverbindungen                      |  |
|  | Anlagenweite Signalerfassung  | Anbindung verteilter oder schwer erreichbarer Sensoren / Aktoren sowie schnelles Nachrüsten / Umrüsten    |  |

## 4 Technische Aspekte der Systemauswahl

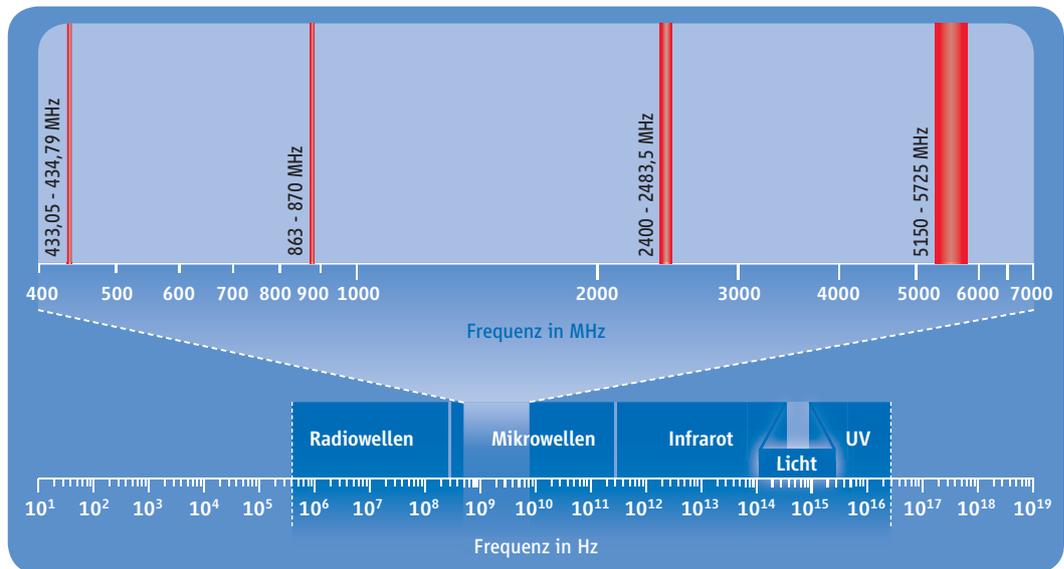
Bei der Verwendung von Funksystemen ist eine vorausgehende Planung genauso erforderlich wie bei der Installation von kabelbasierten Systemen, nur sind andere Anforderungen zu bedenken. Es müssen Regeln und Rahmenbedingungen eingehalten werden, die den einwandfreien Betrieb der Anlage ermöglichen. Zur Erleichterung dieser Planung dienen die nachfolgenden Beschreibungen als Hilfestellung.

### 4.1 Planung von Funksystemen

Die Entscheidung, für eine Anwendung ein funkbasiertes Kommunikationssystem anstelle eines kabelgebundenen einzusetzen, muss stets sorgfältig getroffen werden. Denn die wahllose Nutzung von Funksystemen, nur um z. B. auf Kabel verzichten zu können, kann oft mehr Probleme als Vorteile mit sich bringen.

Grund dafür ist das wertvolle und im Rahmen der zugelassenen lizenzfreien Frequenzen begrenzt verfügbare Medium „Funk“ im Bereich zwischen 433 MHz und 5,7 GHz.

**Abbildung 5: Lizenzfrei nutzbare Frequenzbänder – die begrenzten Ressourcen müssen sorgfältig eingesetzt werden**



**Abbildung 6: Funkbeeinflussung kann entstehen, wenn mehrere Systeme zeitgleich, am gleichen Ort und auf der gleichen Frequenz senden**

Der Frequenzbereich zwischen 2400 und 2483,5 MHz ist jedoch das derzeit einzige weltweit lizenzfreie Band, für das heute schon eine Vielzahl an Technologien und Lösungen zur Verfügung gestellt werden (siehe Abbildung 5).

Funksysteme sind in verschiedenen Ausprägungen am Markt erhältlich, um den unterschiedlichen Anforderungen der Applikationen im industriellen Umfeld zu genügen. Dabei sind Rahmenparameter wie Reichweite, Übertragungszeit, Anzahl der Funkteilnehmer, Datenmenge und Sicherheit im Vorfeld zu klären. Bei der Planung von Funksystemen müssen die nachfolgenden Randbedingungen besonders beachtet werden, damit ein zuverlässiger Betrieb sichergestellt ist.

#### 4.1.1 Koexistenz

Aufgrund des zunehmenden Einsatzes von Funksystemen im industriellen Bereich nimmt die Auslastung der frei nutzbaren Frequenzbereiche stark zu. Funksysteme, die in gleichen Frequenzbändern, am gleichen Ort und zur gleichen Zeit betrieben werden, können sich gegenseitig stören und somit eine Übertragung von Daten beeinflussen (siehe Abbildung 6). Bei der Verwendung von mehreren Funksystemen ist daher eine genaue Funknetzplanung inklusive Dokumentation durchzuführen, so wie es bei der Erstellung von Kabellauflägen selbstverständlich ist. Wichtig ist, dass überlegt mit der knappen Ressource „Funk“ umgegangen wird und frühzeitig zwischen den unterschiedlichen Bereichen eines Unternehmens, die Funklösungen einsetzen, ein Interessenausgleich und eine Priorisierung herbeigeführt werden. Die Lösung



ist eine gemeinsame und möglichst gleichzeitige Planung der Funkinfrastruktur unter Mitwirkung der IT-, Logistik- und Anlagenplaner. Werden gleiche Frequenzbereiche verwendet, bieten viele funkbasierte Systeme hierzu geeignete Mechanismen an, die bestimmte Frequenzen für die Übertragung ausblenden. Beispielsweise können Funkkanäle manuell eingestellt werden oder die Systeme nutzen sogenannte Frequenzsprungverfahren, die automatisch auf belegte Frequenzbereiche reagieren.

Speziell zu diesem Thema hat der ZVEI eine weiterführende Broschüre mit dem Titel „Koexistenz von Funksystemen in der Automatisierungstechnik“ [1] erstellt, die kostenlos von der Webseite des ZVEI heruntergeladen werden kann. Zusätzliche Hilfestellung zur Auswahl einer geeigneten Funktechnologie, Etablierung eines Frequenz-Managements und Planung von Funksystemen liefert die VDI/VDE-Richtlinie 2185 „Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik“, Blatt 1 und Blatt 2 [2].

Werden diese Maßnahmen berücksichtigt, dann können Funksysteme ihr Potenzial voll entfalten. Dies bedeutet nicht nur den vollständigen Ersatz von Kabeln, sondern auch die Realisierung neuer Applikationen, die Produktivitäts- und Verfügbarkeitssteigerung bestehender Anwendungen sowie mehr Flexibilität in der Anlagenplanung.

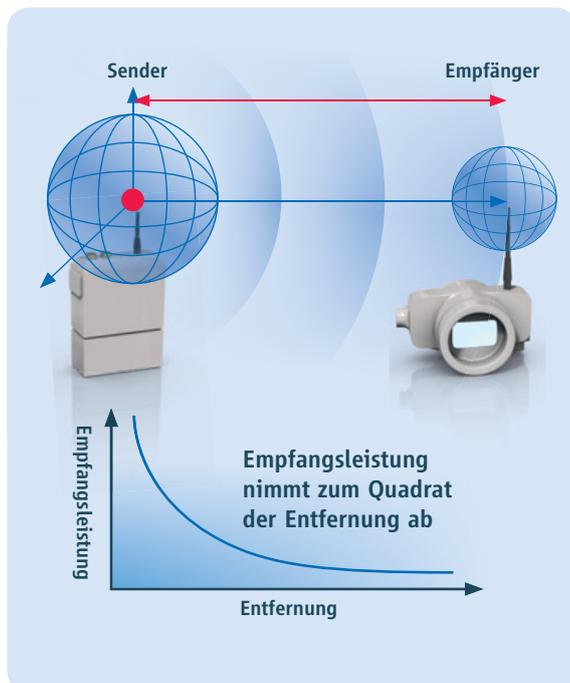
Der Betrieb mehrerer Funksysteme in einer Anlage macht eine Funknetzplanung notwendig. Dadurch kann eine nachhaltige Verfügbarkeit sichergestellt werden.

#### 4.1.2 Reichweitenbeeinflussung

Die Reichweite von Funksystemen ist variabel und steht in Abhängigkeit zu Sendeleistung, Antennentyp (z. B. Richtantenne, Rundstrahlantenne) und Empfindlichkeit der Empfängereinheit. Dabei ist zu beachten, dass die am Empfänger verfügbare Leistung quadratisch mit dem Abstand zum Sender abnimmt, d.h. nach einer Verdoppelung der Entfernung beträgt die Empfangsleistung am Empfänger nur noch ein Viertel der ursprünglichen Sendeleistung (siehe Abbildung 7).

Hersteller von funkbasierten Geräten geben meist die maximale Funkdistanz an. Dieser Wert bezieht sich auf eine „Freifeld“-Umgebung, d.h. Sender und Empfänger sind in direkter Sichtweite ohne Hindernisse angeordnet, was die größte Reichweite ermöglicht. Hindernisse wie Wände, Anlagen oder Geräte, aber auch Fensterscheiben, Regale oder sogar Bäume in Außenbereichen reduzieren die vom Empfänger nutzbare Sendeleistung.

Abbildung 7: Das quadratische Abstandsgesetz



Wenn das Funkumfeld ohne nennenswerte Umgebungsänderung ausgelegt ist, empfiehlt sich eine Simulation durch bereits am Markt erhältliche Programme. Diese zeigen evtl. Funkbegrenzungen auf, denen durch geeignete Maßnahmen wie Umpositionierung von Sender oder Empfänger bzw. Einsatz von Verstärkern oder geeigneten Antennentypen entgegengewirkt werden kann. Es ist darüber hinaus auf Veränderlichkeiten zu achten, die in Zukunft eine Störung verursachen könnten, wie z. B. im Außenbereich Pflanzenwachstum und geplante bauliche Änderungen sowie im Allgemeinen bewegliche Objekte wie z. B. Lastkraftwagen oder Güterwaggons.

#### 4.1.3 Internationale Betriebszulassung

Die Regulierung der Nutzung von Frequenzbereichen ist Länderhoheit und noch nicht weltweit durchgängig harmonisiert. Auch bei Verwendung des 2,4-GHz-ISM-Bandes können länderspezifische Gerätezulassungen oder Lizenzen notwendig sein. Zudem kann es in einigen Ländern erforderlich sein, den Betrieb eines Funknetzwerkes genehmigen zu lassen oder anzuzeigen. Gelegentlich gibt es auch Nutzungseinschränkungen bezogen auf die maximale Sendeleistung oder die Beschränkung des Betriebs auf Innen- oder Außenbereiche. Deshalb ist es insbesondere beim Export von Funksystemen wichtig zuvor zu klären, ob und unter welchen Bedingungen die Geräte im jeweiligen Land betrieben werden dürfen. Die Hersteller geben diese Informationen üblicherweise in ihrer Dokumentation an.

### 4.2 Energieversorgung von Funksystemen

Die Energieversorgung stellt einen wichtigen Punkt beim Einsatz eines Funksystems dar. Da das Funksystem nur die Datenkommunikation realisiert, muss für die Energieversorgung aller in ihm verwendeten Geräte und Komponenten eine separate Planung durchgeführt werden.

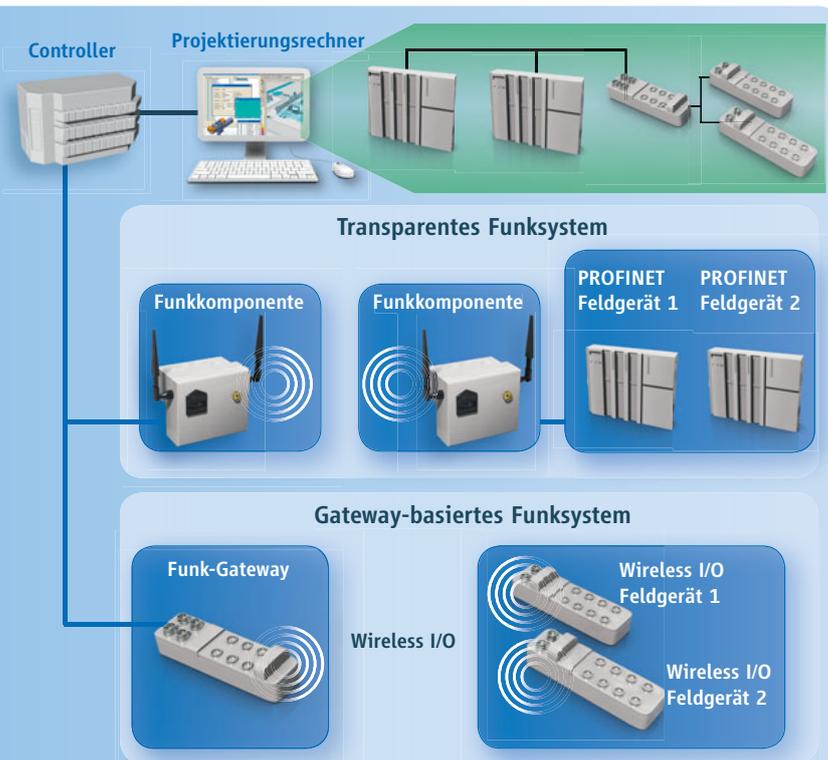
Energieversorgungs-Konzepte können in drei Gruppen eingeteilt werden:

- **Fest installierte Energieversorgung**  
Bei diesem Energiekonzept ist für jede funkbasierte Komponente eine fest installierte Energieversorgung vorhanden. Handelt es sich um flexibel konfigurierbare Fertigungsanlagen und Maschinen, ist die Stromversorgung häufig über Kabel mit Steckverbindungen umgesetzt. Bei bewegten oder rotierenden Anlagenteilen kommen oft Schleifkontakte, Schleifringe oder Stromschienen zum Einsatz.
- **Mobile Energieversorgungen**  
Besteht keine Möglichkeit, eine vorhandene Energieversorgung mit zu nutzen, lässt sich das Funksystem auch über Batterien und Kleinakkus oder lokale induktive Energieübertragungssysteme versorgen. Ein Funksystem mit Batterieversorgung kann meist nicht über die Lebensdauer der Anlage wartungsfrei betrieben werden. Allerdings ist in vielen Fällen der Wechsel von Batterien innerhalb der üblichen Wartungszyklen möglich. Akkus lassen sich ebenfalls während der geplanten Stillstandszeiten der Anlage laden.
- **Eigenversorgung (Energy Harvesting)**  
Ein energieautarker Betrieb kann durch die Verwendung von „Energy Harvesting“-Systemen realisiert werden. Beim „Energy Harvesting“ wird elektrische Energie aus anderen Energieformen gewonnen. Durch entsprechende Generatoren wird Energie aus Bewegung (Rotation, Vibration, lineare Bewegung), Licht, Wärme und Hochfrequenzfeldern oder die Energie bewegter Medien (Wasser, Öl, Luft etc.) in elektrische Energie gewandelt.

Die verschiedenen Arten der Energieversorgung können auch kombiniert werden (z. B. induktives Laden von Akkus), sodass sich für viele Applikationen eine geeignete Form der Stromversorgung für ein Funksystem umsetzen lässt.

### 4.3 Projektierung von Funksystemen

Aus technologischer Sicht lassen sich industrielle Funksysteme grundsätzlich in zwei Gruppen unterteilen (siehe Abbildung 8):



- **Transparente Funksysteme**  
Diese Funksysteme setzen eine bestehende kabelgebundene Feldbus- oder Netzwerkphysik in eine kabellose Physik um. Am Ende der Funkstrecke wird dann wieder in die zuvor genutzte kabelgebundene Physik zurückgewandelt. Das Übertragungsprotokoll wird aus Sicht des Anwenders beibehalten, weshalb es in einem Engineering-System und der Steuerung vollkommen transparent erscheint. Ein transparentes System muss nicht mittels Gerätebeschreibungsdatei projiziert werden. Typisches Beispiel für ein solches System ist die transparente Übertragung von Profinet über WLAN.

- **Gateway-basierte Funksysteme**  
Diese Funksysteme verwenden ein Kommunikationsprotokoll, welches vom kabelseitig vorhandenen Feldbus- oder Netzwerkprotokoll entkoppelt ist. Hierzu dienen sogenannte Gateways. Derartige Lösungen sind bei der Projektierung eines Automatisierungssystems zwingend zu berücksichtigen und die Geräte mittels Beschreibungsdatei zu integrieren. Ein typisches Beispiel sind Gateways für die Anbindung von „Wireless I/O“ an ein kabelgebundenes Profinet-Netzwerk.

Abbildung 8: Transparente und Gateway-basierte Funksysteme am Beispiel der Übertragung des Profinet-Protokolls

## 5 Wissenswertes über Funk

In den letzten Jahren hat die drahtlose Kommunikation eine Reihe von Weiterentwicklungen erfahren und Einzug in viele, auch komplexe Anwendungen der industriellen Automatisierung gehalten. Dennoch gibt es – wie bei jeder Neuerung – noch vielfach Vorbehalte gegen den Einsatz von Funktechnologien. Oft sind unzureichende oder falsche Informationen über die Funktechnologien und deren Anwendung die Ursache. Daher soll im Folgenden auf einige wichtige und immer wiederkehrende Punkte eingegangen werden.

### 5.1 Zuverlässigkeit

Die modernen Funkstandards sind so entwickelt worden, dass eine zuverlässige und leistungsfähige Kommunikationsverbindung bereits bei geringen Anforderungen an die Qualität des Übertragungsmediums „Funk“ sichergestellt ist. Dies wird durch vielfältige Mechanismen in den Funksystemen wie redundante Datenübertragung, Fehlerkorrektur-Mechanismen oder das Bandspreizverfahren erreicht. Auf diese Weise ist trotz eines schlechten oder gestörten Übertragungsmediums eine zuverlässige Kommunikation möglich. Unzählige störungsfrei laufende Funkanwendungen beweisen dies bereits seit Jahren in der täglichen industriellen Praxis.

Für einen dauerhaft zuverlässigen Betrieb ist aber auch der Anwender in hohem Maße mitverantwortlich. So hat die fachgerechte Planung und Installation einer Funklösung einen entscheidenden Einfluss auf deren langfristige Zuverlässigkeit und Performance.

### 5.2 Wireless Safety

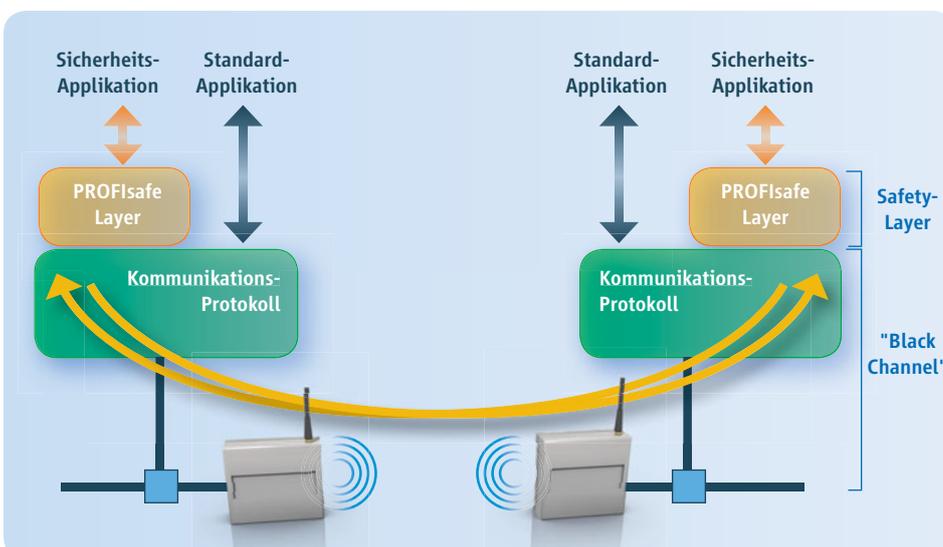
Signale für die funktionale Sicherheit (Safety) von Maschinen und Anlagen werden immer häufiger über Bussysteme und Netzwerke übertragen. Die funktional sichere Kommunikation ist nicht nur über Kabelnetzwerke, sondern auch über Funkstrecken realisierbar.

Grundsätzlich bieten sich zwei Möglichkeiten zur Übertragung an. Am Markt sind zum einen speziell entwickelte sichere Funklösungen erhältlich, die den Austausch sicherer Signale zwischen zwei Funkmodulen erlauben. Diese herstellereigenspezifischen, geschlossenen Lösungen werden hauptsächlich im Bereich Fernsteuerungen und drahtlose Nothaltschalter verwendet.

Die zweite Lösungsmöglichkeit ist die Nutzung eines sicheren Übertragungsprotokolls, dessen Sicherungsmechanismen unabhängig von der Übertragungsphysik sind. Bei dieser Lösung erfolgt die sichere Kommunikation der Daten zwischen zwei oder mehreren Teilnehmern in einem Netzwerk, das auch Funkübertragungsstrecken beinhalten kann – z. B. zwischen der zentralen Anlagensteuerung und einem sicheren Ein-/Ausgangs-Modul auf einem mobilen Transportsystem.

**Abbildung 9: Prinzipdarstellung der fehlersicheren Drahtloskommunikation unter Nutzung des PROFIsafe-Profiles**

Im Jahr 2005 hat die PROFIBUS Nutzerorganisation (PNO) die Übertragung des PROFIsafe-Profiles über Profinet auch für die Funkkommunikation spezifiziert und die notwendigen Randbedingungen im PROFIsafe-Profil definiert. Die im nicht-sicheren Übertragungskanal – dem sogenannten Black Channel – bei PROFIsafe verwendeten Netzwerkkomponenten, z. B. eines Funksystems, bedürfen keiner Validierung nach IEC 61508 (siehe Abbildung 9).



Die Skepsis gegenüber dem Einsatz von Funkkommunikation in der industriellen Automation ist bezüglich funktionaler Sicherheit unbegründet. Aus technologischer Sicht hat der drahtlose Datenaustausch keinen Einfluss auf die Sicherheit einer Maschine oder Anlage.

### 5.3 Wireless Security

Bei der Nutzung von Funktechnologien zur Datenkommunikation sind insbesondere Maßnahmen zur Datensicherheit und zur Sicherstellung der Verfügbarkeit zu treffen (Security).

Anders als bei einer Kabelverbindung können die ausgesendeten elektromagnetischen Wellen von Dritten empfangen oder gestört werden. Außerdem lässt sich die Übertragung nur schwer räumlich begrenzen, da die Daten mit leistungsfähigen Empfängern und starken Richtantennen auch weit über der normalen Nutzreichweite der funkbasierten Kommunikationssysteme empfangen werden können.

Um den Missbrauch der Daten und das unzulässige Eindringen in das Netzwerk zu verhindern, sollten daher immer die aktuellsten sicheren Verschlüsselungsverfahren der Funksysteme aktiviert werden. Diese entsprechen heute bei den meisten Funksystemen dem Stand der IT-Sicherheitstechnik und können als sicher betrachtet werden. Es ist zudem zu beachten, dass vorsätzliche oder unbeabsichtigte Funkstörungen zum Verlust der Verfügbarkeit eines Kommunikationssystems führen können. Daher ist neben der technischen Sicherheit vor allem der Betreiber gefordert, entsprechende organisatorische Maßnahmen zur Datensicherheit und zum störungsfreien Betrieb durchzuführen. Weitere Informationen sind beim VDI oder dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) zu finden. Die Richtlinie VDI/VDE 2182 „Informationssicherheit in der industriellen Automatisierung“ [3] beschreibt, wie die Informationssicherheit von automatisierten Maschinen und Anlagen durch die Umsetzung von konkreten Maßnahmen erreicht werden kann. Das Bundesamt für Sicherheit bietet die Richtlinien „Sichere Nutzung von WLAN – BSI-Leitlinie zur Internet-Sicherheit“ [4] und „Drahtlose Kommunikationssysteme und ihre Sicherheitsaspekte“ [5] auf seiner Webseite zum Download an.

### 5.4 Medizinische Betrachtung

Über die Frage, ob elektromagnetische Strahlungen einen Einfluss auf den menschlichen Organismus haben, gibt es noch keine hinreichende Aussage. Fest steht, dass die geringen Sendeleistungen von Bluetooth, WLAN und anderen Funksystemen deutlich unter den festgelegten Grenzwerten liegen. Im Gegensatz zu einem Mobiltelefon, welches mit bis zu zwei Watt Sendeleistung arbeiten kann, ist die ausgesendete Leistung eines Funkmoduls mindestens um den Faktor 10-20 niedriger. Da industrielle Funkmodule zudem nicht unmittelbar am Körper getragen werden, beträgt die vom Körper absorbierte Strahlungsleistung meist weniger als 1/1000 der ausgesendeten Energie. Im Vergleich zu einem Mobiltelefon ist deshalb die Strahlungsbelastung durch ein industrielles Funkmodul wesentlich geringer und damit fast vernachlässigbar. Entsprechend sind die medizinischen Risiken gering. Weitere Informationen sind beim Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) erhältlich.

### 5.5 Planungs- und Diagnose-Tools

Für die Planung, Inbetriebnahme und Wartung von Funknetzwerken ist der Einsatz entsprechender Tools sinnvoll. Speziell für die Funknetzplanung wird Software angeboten, die auf Basis einer Simulation das später zu erwartende Funkfeld kalkuliert (siehe Abbildung 10). Somit lässt sich bereits vor der Installation abschätzen, ob eine ausreichende Signalstärke am späteren Empfangsort vorhanden ist und die Planung kann bei Bedarf an die Anforderungen angepasst werden.

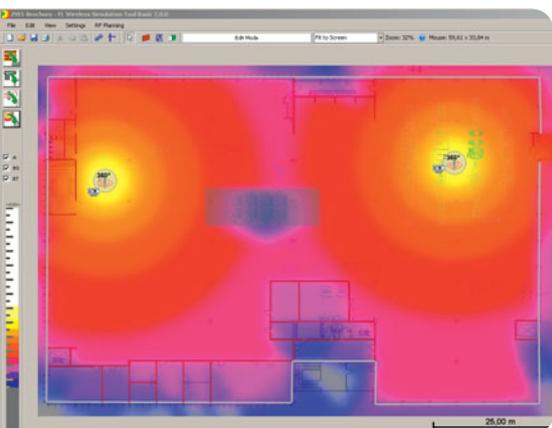
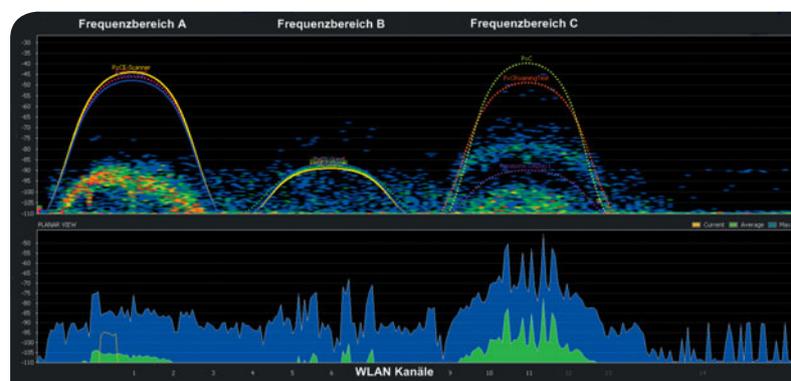


Abbildung 10: Ergebnis einer Funksimulation: Die Farbe gibt Auskunft über die zu erwartende Signalstärke im Raum

Nach der Installation der Funkmodule wird mittels Messung – bei WLAN beispielsweise mittels sogenannter Site Survey Tools – die tatsächliche räumliche Verteilung der Signalstärke in Hallen und Gebäuden ermittelt und so ein Abnahmeprotokoll erstellt. Während des Betriebs liefern die Funkmodule selbst wertvolle Informationen über die aktuelle Qualität und die Stärke des empfangenen Funksignals.

Im Fall von vermuteten Störungen durch andere Funkmodule kann die Verwendung eines sogenannten Spektrumanalysators – ggf. über einen längeren Zeitraum – hilfreich sein, der die Funksignale im Frequenzband „sichtbar macht“ (siehe Abbildung 11). Meist reicht die Nutzung eines kostengünstigen USB-Spektrumanalysators aus.

Abbildung 11: Ein Spektrumanalysator zeigt die Frequenznutzung aller aktiven Funkmodule; so lassen sich auch unbekannte Sender aufspüren



## 6 Fazit

Auch wenn es für einige Anwendungen physikalisch-technisch bedingte Einschränkungen gibt, überzeugen doch die vielfältigen Anwendungen, die heute schon drahtlos realisierbar sind. Der Einsatz von Funkkommunikation bietet in bestimmten Anwendungsfällen erhebliche Vorteile gegenüber der drahtgebundenen Kommunikation. Voraussetzung hierfür ist die Wahl geeigneter Funktechnologien und passender Komponenten für den industriellen Einsatz sowie die Berücksichtigung der in dieser Broschüre genannten Planungsaspekte. Diese bestimmen vorrangig den Erfolg: Es gilt für drahtlose Kommunikation noch mehr als für die verdrahtete, stets mit Kompetenz und Sachverstand an Planung, Installation und Betrieb heranzugehen.

## Abkürzungsverzeichnis

|      |  |
|------|--|
| BfS  | Bundesamt für Strahlenschutz                                     |
| BSI  | Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik              |
| DSL  | Digital Subscriber Line  |
| GPRS | General Packet Radio Service                                     |
| GSM  | Global System for Mobile Communication                           |
| I/O  | Input / Output   |
| IEC  | International Electrotechnical Commission                        |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers                |
| ISDN | Integrated Services Digital Network                              |
| ISM  | Industrial, Scientific and Medical                               |
| PNO  | PROFIBUS Nutzerorganisation e. V.                                |
| RFID | Radio Frequency Identification                                   |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System                       |
| VDE  | Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.  |
| VDI  | Verein Deutscher Ingenieure e. V.                                |
| WLAN | Wireless Local Area Network                                      |
| ZVEI | Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. |

## Literatur

- [1] Broschüre „Koexistenz von Funksystemen in der Automatisierungstechnik“, Herausgeber: ZVEI – Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.; November 2008
- [2] Richtlinie VDI/VDE 2185 „Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik“, Herausgeber: VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik; Beuth Verlag, September 2007
- [3] Richtlinie VDI/VDE 2182 „Informationssicherheit in der industriellen Automatisierung“, Herausgeber: VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik; Beuth Verlag, August 2007
- [4] BSI-Leitlinie zur Internet-Sicherheit (ISi-L) „Sichere Nutzung von WLAN (ISi-WLAN)“, Herausgeber: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik; 2009
- [5] Broschüre „Drahtlose Kommunikationssysteme und ihre Sicherheitsaspekte“, Herausgeber: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik; 2006



**ZVEI:**

Automation

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e. V.  
Fachverband Automation  
Lyoner Straße 9  
60528 Frankfurt am Main

Fon: 069 6302-292  
Fax: 069 6302-319  
Mail: [automation@zvei.org](mailto:automation@zvei.org)  
[www.zvei.org](http://www.zvei.org)

