



INDUSTRIAL
RADIO LAB
Germany

Leitfaden Industrial Radio

Nov
2023

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Einleitung

Dieser Leitfaden bietet Leseempfehlungen, um Interessierten den Einstieg in das facettenreiche Feld der industriellen Funkkommunikationssysteme zu erleichtern. Unsere Empfehlungen richten wir sowohl an Vertreter*innen aus den Bereichen Anwendung, Geräteherstellung und Forschung als auch all jene, die sich für industrielle Funkkommunikation interessieren. Dieser Leitfaden wurde im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts "[Industrial Radio Lab Germany \(IRLG\)](#)" entwickelt. Das IRLG ist an vier Standorten in Deutschland tätig und widmet sich wissenschaftlichen und technischen Fragestellungen rund um industrielle Funkkommunikationssysteme. Neben der Forschung legen wir Wert darauf, relevante Akteure zu vernetzen und Diskussionsplattformen zu bieten, wozu dieser Leitfaden beitragen soll, indem er das Verständnis und die Relevanz dieses Themas fördert und den aktuellen Stand der Technik und Forschung einem breiten Publikum näherbringt.

Das IRLG ist technologieneutral und betrachtet aktuelle WiFi- und Mobilfunkgenerationen sowie Wireless Personal Area Networks (WPANs wie Bluetooth und Zigbee) und Low Power Wide Area Networks (LPWANs wie LoRa). Da international bereits an der sechsten Mobilfunkgeneration 6G geforscht wird, möchten wir an dieser Stelle darauf hinweisen, dass zwischen Mobilfunkgenerationen in der Regel etwa zehn Jahre liegen. Dadurch ist 6G für Anwendungen erst ab ca. 2030 relevant. Der Leitfaden fokussiert sich daher auf aktuell oder in naher Zukunft verfügbare Technologien.

Allgemeine Übersichten

[Industrie 4.0](#) geht einher mit der Digitalisierung industrieller Anwendungen. Besonders mobile Szenarien werden in den nächsten Jahren eine zentrale Rolle spielen. Um mobile Netzteilnehmer miteinander zu verbinden, sind drahtlose Kommunikationsschnittstellen unerlässlich.

Für einen guten ersten Einstieg in die industrielle Funkkommunikation und Industrie 4.0 empfehlen wir das [VDE-Positionspapier "Funktechnologien für Industrie 4.0"](#), welches 2017 von Vertreter*innen aus Industrie und Forschung gemeinsam verfasst wurde. Das Positionspapier zeigt die entscheidende Rolle von Funkkommunikation für Industrie 4.0 und gibt einen guten Überblick. Angefangen bei möglichen Anwendungen für industriellen Funk, über die technischen Herausforderungen bis hin zu den bereits verfügbaren drahtlosen Technologien zum Zeitpunkt der Veröffentlichung.

Wenn Sie bereits über ein solides Grundwissen verfügen und insbesondere, wenn Sie an dem professionellen Einsatz von industriellen Funktechnologien interessiert sind, empfehlen wir die regelmäßig aktualisierte [Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0 \(Version 5\)](#). Sie bietet einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Normung im Bereich Industrie 4.0, zeigt die Lücken und Unstimmigkeiten in den bestehenden Normen auf und gibt entsprechende Handlungsempfehlungen, die anschließend auch auf internationaler Ebene umgesetzt werden sollen. In der aktuellen Version wurde ein großer Schwerpunkt auch auf den Einsatz von künstlicher Intelligenz gelegt.

Eine weiterführende Empfehlung ist das [VDE-Positionspapier "Resiliente Netze mit Funkzugang"](#). Das Positionspapier ist für Personen und Organisationen relevant, die an der Entwicklung und Implementierung digitaler Kommunikationsnetze beteiligt sind, insbesondere im Zusammenhang mit der 5G-Technologie und der zunehmenden Bedeutung der mobilen Konnektivität. Dabei wird die Notwendigkeit von sichereren und widerstandsfähigeren Netzen angesichts potenzieller Bedrohungen und negativer Ereignisse beschrieben. Außerdem wird die Bedeutung der resilienten Netze für sicherheitskritische Anwendungen

und Szenarien sowie die Entwicklung von Strategien und Technologien zur Gewährleistung robuster Kommunikationsnetze in der Zukunft vorgestellt.

Basisverständnis Funkgrundlagen

Wie bereits erwähnt beschäftigt sich Industrie 4.0 auch mit der Einführung drahtloser Kommunikationstechnik. Dabei kommen unterschiedliche Funktechnologien wie WiFi, Bluetooth oder ZigBee zum Einsatz. Um eine fundierte Technologieauswahl treffen zu können, sind detaillierte Funkgrundlagen hilfreich. In unserem [Blog](#) finden Sie neben Beiträgen für das Fachpublikum auch Einstiegsartikel zu diesem Thema. Hier werden Fachbegriffe wie bspw. Frequenzbänder oder auch Link Budget erklärt.

Neben den technologischen Grundlagen sollte allen Anwender*innen klar sein, ob und unter welchen Bedingungen in einem Frequenzband gesendet werden darf. Hierzu verweisen wir auf die Empfehlung [ERC-Rec:70-03](#), die genau dies übersichtlich beschreibt. Rechtlich bindend für Deutschland, jedoch unübersichtlicher, ist der [Frequenznutzungsplan der Bundesnetzagentur](#).

Anforderungserfassung industrieller Anwendungen

WiFi, Bluetooth und Co werden häufig im privaten Umfeld eingesetzt. Im Gegensatz dazu gibt es in betrieblichen und professionellen Applikationen andere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit eines Kommunikationssystems. In diesem Abschnitt zeigen wir auf, welche Anforderungen von industriellen Anwendungsfällen untersucht wurden und wie Sie diese Anforderungen in der Praxis umsetzen können.

Die Ergebnisse im Programm "Zuverlässige drahtlose Kommunikation für die Industrie (ZDKI)" wurden im Rahmen des Begleitforschungsprojekts BZKI in der Fachgruppe 1: "Anwendungen, Anforderungen und Validierung" gesammelt und in einem entsprechenden [Bericht](#) veröffentlicht. Dort finden sich detaillierte Modelle für die Unterscheidung zwischen Kommunikationssystem und industrieller Anwendung, um gezielt die Anforderungen der Anwendung zu identifizieren. Eine ausführliche Zusammenstellung der verschiedenen industriellen Anwendungen und quantitativen Anforderungen findet sich im [VDE Positionspapier „Funktechnologien für Industrie 4.0“](#), in dessen zweitem Teil auch eine Kurzübersicht über Funktechnologien gegeben wird.

Im Hinblick auf die Verwendung von Mobilfunksystemen müssen zusätzlich zu den technischen Anforderungen auch funktionale Anforderungen berücksichtigt werden, die sich aus der Architektur eines Mobilfunksystems bzw. dem Ökosystem des Mobilfunks ergeben. Hierzu wurden ebenfalls bereits [Untersuchungen in der Literatur](#) angestellt.

Für einen leichten Einstieg in das Thema Anforderungserfassung bieten wir einführende Artikel in Form von informativen [Blogbeiträgen](#) und einem im zweiten Teil des [Merkblatts „LPWAN“](#) an. Wenn Sie tiefer in das Thema eintauchen möchten, empfehlen wir die Lektüre von Fachartikeln und Richtlinien, insbesondere der Richtlinie [VDI/VDE 2185 Blatt 1](#). Diese bietet detaillierte Einblicke und vertiefte Informationen für alle, die ein tieferes Verständnis der Anforderungserfassung für industrieller Anwendungen anstreben.

Performance Testing aus Applikationssicht

Sobald das Anforderungsprofil der Anwendung festgelegt wurde, ist es entscheidend zu klären, ob das (Funk-)Kommunikationssystem in der Lage ist, diese Anforderungen zu erfüllen. Daher ist es unerlässlich, Vertrauen in das Kommunikationssystem aufzubauen, **bevor** es in die Anwendung integriert wird. Dies gilt insbesondere für Funkssysteme. Aus unserer Sicht ist

ein Performance Testing aus Applikationssicht notwendig. Im Unterschied zu den in Datenblättern genannten Kennzahlen wie Reichweite oder Datenrate wird beim Performance Testing nicht nur das Funksystem, sondern das Gesamtsystem einbezogen. Beispielsweise hängt die Reichweite eines Funkgeräts signifikant von der Umgebung ab, in der es eingesetzt wird. Die auf diese Art ermittelten Kennzahlen gehen über die Angaben der Datenblätter hinaus und sind entsprechend direkt auf die geplante Applikation übertragbar.

Perspektivisch ist es natürlich wünschenswert, dass ein Performance Testing aus Applikationssicht für betriebliche und professionelle Applikationen im Rahmen einer Zertifizierung erfolgt, um Endanwendern die Auswahl und den Einsatz zu erleichtern. Aktuell sind diesbezüglich erste Aktivitäten gestartet.

Daher empfehlen wir bis auf Weiteres ein umsichtiges Performance Testing, welches von Endanwendern oder Geräteherstellern getrieben werden muss. Am Beispiel von 5G werden die Prinzipien des Performance Testings im [5G-ACIA Whitepaper "Performance Testing of 5G Systems for Industrial Automation"](#) beschrieben. Eine detaillierte, funktechnologieunabhängige Beschreibung finden Sie in der Richtlinie [VDI/VDE 2185-4](#).

Koexistenz von industriellen Applikationen, die Funksysteme nutzen

Nachdem das Anforderungsprofil definiert und die Testspezifika identifiziert wurden, muss das komplette Funksystem in Betracht gezogen werden. Der Begriff Koexistenz beschreibt dabei den Zustand, in dem alle Applikationen einwandfrei operieren können. Dabei bezieht sich Koexistenz nicht nur auf die Koexistenz verschiedener Übertragungen im Funkkanal, sondern vielmehr um die gleichzeitige Bedienung aller Applikationen, die Funksysteme nutzen. Der Begriff der Koexistenz ist häufig in Bezug auf die physikalische Übertragung geläufig. Aus Sicht industrieller Applikationen greift diese Betrachtung allerdings zu kurz.

Wir erwarten, dass das Thema Koexistenz von industriellen Applikationen, die Funksysteme nutzen, in Zukunft an Relevanz gewinnen wird. Funksysteme kommen zunehmend zum Einsatz, wodurch das Potential von Störungen, die die Koexistenz temporär oder dauerhaft beeinträchtigen, wächst. Wir empfehlen Anwendern von Funksystemen, frühzeitig ein Koexistenzmanagement zu etablieren. Es schafft einen Überblick über die etablierten Funkanwendungen in dem Gesamtsystem und hilft diesen Überblick auch in Zukunft zu behalten. Einen Leitfaden zur Etablierung eines Koexistenzsystems finden Sie in Richtlinie [VDI/VDE 2185 Blatt 2](#). Als weiterführende Lektüre kann der Standard [IEC 62657](#) herangezogen werden.

Rund um Campusnetze

Im Gegensatz zu WiFi, Bluetooth oder ZigBee verwenden Campusnetze nicht-öffentliche, räumlich begrenzte Mobilfunknetze. Dabei unterstützen diese die flexiblen Eigenschaften von lokalen Funksystemen wie WLAN mit der Leistungsfähigkeit von Mobilfunksystemen. Diese Mobilfunknetze werden dediziert zugeordnet und sind somit besser gegen Störer gesichert.

Einführende Informationen wie Betreibermodelle und Nutzung von lokalem Funkpektrum finden Sie im [IRLG Merkblatt Campusnetze](#). Darüber hinaus werden von der Bundesnetzagentur [Unterlagen](#) zur Beantragung von Campusnetzlicenzen, insbesondere für den Bereich 3,7 bis 3,8 GHz, bereitgestellt sowie Informationen zu Lizenzgebühren und vorhandenen Frequenzuteilungen. Zur detaillierten Berechnung der Lizenzgebühren steht ein interaktiver [Campusnetzplaner](#) zur Verfügung. Weiterführende Informationen zu Themen wie [Netztopologien und -architekturen](#), [Anwendungen](#) und [Informationen zum Aufbau und Betrieb von Campusnetzen](#) sind in Publikationen diverser Organisationen zu finden.

CE-Anforderungen für Funkprodukte

Nachdem nun also die Technologie ausgewählt, das Anforderungsprofil definiert, die Testspezifika identifiziert und ein Koexistenzmanagement in Betracht gezogen wurden, wollen wir uns kurz die rechtlichen Grundlagen für die Bereitstellung von Funkprodukten in der EU anschauen.

Wenn Sie beabsichtigen, ein Gerät in Europa auf den Markt zu bringen, ist es unerlässlich, sich gründlich mit dem [Blue Guide](#) der Europäischen Union vertraut zu machen. Dieser Leitfaden bietet nicht nur einen umfassenden Überblick über die Schlüsselakteure im europäischen Markt, darunter Importeure, Händler und Hersteller, sondern erläutert auch im Detail, welche Dokumente Sie für eine wirksame Marktüberwachung bereithalten sollten.

Darüber hinaus wurde im Jahr 2014 der [RED Guide](#) von der Europäischen Kommission eingeführt. Dieser Leitfaden ist nicht nur für Unternehmen von Interesse, die Funkprodukte in den Markt einführen möchten, sondern auch für jene, die Funkprodukte nutzen oder in ihre eigenen Produkte integrieren wollen.

Für den Fall, dass Sie bereits in Verkehr gebrachte Produkte kombinieren und ein neues Produkt erstellen möchten, sind unterschiedliche Richtlinien anzuwenden. In solchen Fällen empfehlen wir einen Blick in den ETSI Guide zum Thema Combined Equipment. Dieser bietet wertvolle Informationen und Anleitungen, um sicherzustellen, dass Ihre Produktkombination den relevanten regulatorischen Anforderungen entspricht.

Organisationen und Gremien zu Funk in der Automation

Es gibt national und international eine Reihe von Organisationen, die sich vorwettbewerblich oder neutral mit den Themen rund um "Funk in der Automation" befassen und im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Industrial Radio Lab Germany – technologieneutral, Transfer von Forschung in Anwendung

Das [IRLG](#) ist ein Verbund aus vier Standorten, welche hinsichtlich Funksystemen in der Automation eine neutrale Perspektive bieten. Wir sind gern für individuelle Fragen verfügbar!

VDI/VDE Gesellschaft für Messtechnik und Automation (GMA) Fachausschuss 3.21

"Funkgestützte Kommunikation" – technologieneutral, vorwettbewerblicher Zusammenschluss

Der VDI/VDE GMA FA 3.21 (bis Ende 2022 FA 5.21) ist durch Mitwirkende aus der Industrie geprägt und befasst sich technologieneutral seit über 20 Jahren mit Funksystemen in der Automation.

5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA) – Fokus "Industrial 5G", internationaler vorwettbewerblicher Zusammenschluss

Die [5G-ACIA](#) wirkt seit 2018 auf die Entwicklung von 5G so ein, dass dessen Einsatz für Automationsanwendungen gewährleistet ist. Neben der Erfassung von Anforderungen werden Ökosystem und Architektur konzeptionell mitgestaltet sowie reale Installationen demonstriert.

VDMA Wireless Communications for Machines (WCM) – technologieneutral, vorwettbewerblicher Zusammenschluss

Die [VDMA WCM](#) beschäftigt sich seit 2021 mit der Identifikation von Anwendungen, welche von Funksystemen profitieren würden. Weitere Arbeiten hinsichtlich der Auswahl und sogar möglicher Mitgestaltung sind geplant.