

Hochschule Magdeburg-Stendal
Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Industriedesign (IWID)
Institut für Elektrotechnik

Bachelorarbeit

zur Erlangung des Grades eines "Bachelor of Engineering"
im Studiengang Elektrotechnik

Thema: **„Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten der
Bluetoothkommunikation im Bereich
der Automatisierungstechnik“**

Eingereicht von: **Michael Klauk**

Angefertigt für: SYMACON GmbH, 39179 Barleben

Matrikel: E 2011

Ausgabetermin: 14. Januar 2015

Abgabetermin: 25. März 2015

Schulischer Betreuer: Herr Prof. Dr.-Ing. Yongjian Ding

Betrieblicher Betreuer: Herr Dipl.-Ing. Wilfried Lonitz

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	III
MOTIVATION UND KURZZUSAMMENFASSUNG	IV
ABSTRACT	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VI
TABELLENVERZEICHNIS	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IX
1 EINLEITUNG UND TECHNOLOGISCHE GRUNDLAGEN	1
1.1 BLUETOOTH - DEFINITION UND HINTERGRUND	1
1.2 ENTSTEHUNG	1
1.2.1 NUTZERORGANISATIONEN	1
1.2.2 ENTWICKLUNG	3
1.2.3 AKTUELLER STAND	4
1.2.4 KONKURRENZ	5
1.3 DIE VERSCHIEDENEN KLASSEN UND STANDARDS	10
1.4 BLUETOOTH-PROFILE UND PROTOKOLLE	12
1.4.1 PROFILE	12
1.4.2 PROTOKOLLE	14
1.5 VIELSCHICHTIGKEIT BEIM EINSATZ VON BLUETOOTH	15
1.6 VERBREITUNG UND BEDEUTUNG DER TECHNIK IM INDUSTRIELLEN UMFELD	17
1.7 TECHNISCHE DATEN	19
1.7.1 KLASSEN- UND STANDARDUNABHÄNGIGE DATEN	19
1.7.2 VERGLEICH VON ZWEI AKTUELL WEITVERBREITETEN STANDARDS	20
2 EINSATZVORBEREITUNG UND EINSATZGRENZEN	21
2.1 EIGNUNG VON BLUETOOTH FÜR VERSCHIEDENE BEREICHE	21
2.2 WANN WIRD DER EINSATZ SINNVOLL?	22
2.3 VORAUSSETZUNGEN HARDWARE UND SOFTWARE	25
2.4 HINDERNISSE UND AUSSCHLUSSKRITERIEN	26
2.4.1 ALLGEMEIN	26
2.4.2 KOEXISTENZ	27
2.5 ALTERNATIVE ENERGIEVERSORGUNG	32
3 ANWENDUNG UND ANFORDERUNGEN DER AUTOMATISIERUNGSBRANCHE AN FUNKTECHNIK	34
3.1 PRAKTISCHE ANWENDUNGSBEISPIELE FÜR FUNKTECHNIK IN DER INDUSTRIEAUTOMATION	34
3.2 ANFORDERUNGEN DER AUTOMATISIERUNGSBRANCHE AN EINE FUNKKOMMUNIKATION	40
4 BEWERTUNG DES FUNKSYSTEMS	49
4.1 BEWERTUNGSKRITERIEN	49
4.2 VORLAGEN EINER BEWERTUNGSMATRIX	53

5	ZUVERLÄSSIGKEIT UND SICHERHEIT	55
5.1	ZUVERLÄSSIGKEIT DER VERBINDUNG	55
5.2	VERBINDUNGSABBRUCHMANAGEMENT	55
5.3	REALISIERBARKEIT VON SAFETY-ANFORDERUNGEN	56
5.4	VERSCHLÜSSELUNG UND SICHERHEITSLÜCKEN	57
6	ASPEKTE DES ARBEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZ	59
6.1	MAXIMALE SENDELEISTUNG UND LEISTUNGSANPASSUNG	59
6.2	STRAHLENBELASTUNG / GEFÄHRDUNG FÜR DEN MENSCHEN	59
7	TESTREIHEN UND VERSUCHSERGEBNISSE	61
7.1	BLUETOOTH-TESTSTAND	61
7.2	VERBINDUNGSQUALITÄTSTEST BEI VERSCHIEDEN LANGEN ÜBERTRAGUNGSSTRECKEN	64
7.2.1	REALE MESSUNG MIT PHOENIX BT I/O TESTER	64
7.2.2	VERBINDUNGSQUALITÄTSTESTS BEI MODULEN IN BEWEGUNG	66
7.3	BEISPIEL KOEXISTENZPLANUNGS SOFTWARE	68
8	FAZIT	70
8.1	ZUSAMMENFASSUNG / EINSATZEMPFEHLUNG	70
8.2	ABSCHLUSSDISKUSSION	71
8.3	AUSBlick	74
9	LITERATURVERZEICHNIS	75
	ANHANG	77
	BEGRIFFE UND DEFINITIONEN	81

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei allen herzlich bedanken, die mich während der Anfertigung meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Speziell gilt mein Dank...

- Prof. Dr.-Ing. Yongjian Ding für die Bereitstellung des Themas sowie für die angenehme Betreuung
- Dipl. Ing. Wilfried Lonitz für die ständige Unterstützung, die vielen hilfreichen Anmerkungen und die unkomplizierte Beantwortung meiner Fragen
- den Laboringenieuren der Fachhochschule Magdeburg / Stendal für die praxisbezogenen Tipps auch außerhalb ihres Lehrauftrags.
- meinen Korrekturlesern Felix Glücklederer und Michael Düring für das gewissenhafte Fehlerlesen und die nützlichen Anregungen
- meinen Eltern, meiner Freundin Stefanie und meinen engen Freunden für die immerwährende Unterstützung in jeglicher Form während meines Studiums.

Magdeburg, den 20.03.2015

Michael Klauk

Motivation und Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Thema der industriellen Nutzung von Funktechnologie für automatisierungstechnische Problemstellungen der drahtlosen Informationsübertragung. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf dem Komfort- und Flexibilitätsgewinn durch den Einsatz von Funklösungen als Schnittstelle, sowohl zwischen Mensch und Maschine als auch zwischen den verschiedenen Komponenten innerhalb einer Automatisierungsanlage.

Vermehrt kommt es vor, dass bei dem Entwurf von modernen Anlagen die Anforderungen an die Benutzerschnittstelle, Mobilität und Modularität ansteigen. Die klassische Verdrahtung könnte an manchen Stellen durch eine Funklösung sinnvoll ersetzt bzw. erweitert werden, um somit einen möglichst großen Spielraum in Sachen Flexibilität bereit zu stellen. Ob dies so problemlos möglich ist und welchen Nutzen der Anlagenbetreiber daraus gewinnen kann, ist das zentrale Thema dieser Arbeit. Des Weiteren wird eine Risikobetrachtung durchgeführt und eine Hilfestellung bei der Auswahl des richtigen Funksystems gegeben. Da eine allumfassende Untersuchung sämtlicher, vorhandener „Standards“ den geforderten Umfang dieser Betrachtung deutlich überschreiten würde, wird nachfolgend nur auf die für den Bereich Automatisierungstechnik besonders relevanten Standards eingegangen. Der Bluetooth-Standard erwies sich im Laufe der vorangegangenen Literaturrecherche als sehr vielversprechend. Aufgrund dessen wird er in dieser Arbeit als Referenz betrachtet und sein Einsatz kritisch abgewogen.

Diese Bachelorarbeit beinhaltet neben grundlegenden „Technik-Basics“ und diversen Vergleichen mit konkurrierenden Techniken auch Diskussionen bezüglich Risikofaktoren und Nutzen der Funktelemetrie. Der praktische Teil dieser Arbeit liefert Erkenntnisse von eigens geplanten und durchgeführten Tests in Bezug auf Reichweite und Störquellen. Ein Bluetooth-Versuchsstand, bei dem zwei Steuerungen direkt über Bluetooth miteinander kommunizieren, rundet die Praxis ab. Zusätzlich wurden VDI/VDE- Vorschriften zu dem Thema „Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik“ mit verschiedenen Schwerpunkten für die Betrachtung herangezogen. Des Weiteren erfolgte der direkte Kontakt zu den Fachingenieuren des Bereichs „Industrial Bluetooth“ der Firma „Phoenix Contact“, um die theoretische Seite dieser Arbeit abzurunden. Abschließend erwartet Sie eine Diskussion, in der die Vorzüge und Risiken der Funktechnik im Bereich Automatisierungstechnik zusammenfassend betrachtet werden.

Abstract

The paper at hand is concerned with the topic of industrial utilization for wireless technology for automation tasks in wireless transmission of information. Special focus will be on the benefits gained in the areas of comfort and flexibility through application of radio based solutions as interface. This interface takes place between human and machine and also between the various components within an automation system.

In the future there will be increasing demand for requirements that combine mobility and modularity in the conception of modern systems. The classical fixed wiring could be replaced or extended in some places by radio solutions to provide the utmost flexibility. The central issue of this thesis is to work on recommendations that offer advantages for the plant operators and the practical implementation. Furthermore I will provide a risk analysis and support for choosing the right wireless system. Because an overall analysis of all known standards is not feasible the following thesis is only concerned with standards common in automation. According to the latest research the Bluetooth standard seems to be most promising. Based on that, the application of Bluetooth is considered the most promising approach and the usage will be critically evaluated. This thesis includes a detailed analysis of technological basics, different comparisons dealing with competitive technologies and a discussion about the risks and benefits of wireless telemetry. The practical part yields insights from tests and research referring to range and jamming sources. A test station with 2 CPUs communicating with each other by Bluetooth has also been built. Additionally VDI / VDE regulations referring to various main focuses were also taken into consideration. Toward the end of my research electronic engineers from „Phoenix Contact“ have been contacted to verify the theoretical approach of this thesis and also to answer product specific questions. The final discussion summarizes the pros and cons in the field of wireless automation.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Bluetooth-Logo (Muller, 2001)	1
Abbildung 1-2: SIG Mitgliederentwicklung (VDI, 2007)	2
Abbildung 1-3: Adressknappheit bei Bluetooth	4
Abbildung 1-4: Datenratenentwicklung von Bluetooth und WLAN	7
Abbildung 1-5: Bluetooth Protocol Stack (itwissen.info)	14
Abbildung 1-6: Verkaufszahlen Bluetoothgeräte	17
Abbildung 2-1: Störungen - industrielles Umfeld (Jörg Brasas, 2014)	23
Abbildung 2-2: Reichweite bei verschiedenen Antennen (Jörg Brasas, 2014)	24
Abbildung 2-3: Antennenmontageübersicht (Jörg Brasas, 2014)	24
Abbildung 2-4: Hardwarekomponenten eines Bluetoothmoduls	25
Abbildung 2-5: Durchdringungswinkel (SMA Technology, 2009)	27
Abbildung 2-6: Testaufbau ExFa Magdeburg (Hüppe, 2007)	28
Abbildung 2-7: Frequenzsprungverfahren (Jörg Brasas, 2014)	30
Abbildung 2-8: Frequenzbelegung Bluetooth (Jörg Brasas, 2014)	31
Abbildung 3-1: Anwendung Wirelesstechnologie (Jörg Brasas, 2014)	38
Abbildung 3-2: Beispiel Kransteuerung (Jörg Brasas, 2014)	39
Abbildung 3-3: Automatisierungspyramide (Heiko Adamczyk)	42
Abbildung 3-4: Multiplexverfahren (Muller, 2001)	47
Abbildung 4-1: Bildbeispiel Bewertungsmatrix nach VDE	53
Abbildung 5-1: Safety Integrity Level (SI-Level)	56
Abbildung 7-1: Bluetooth Teststand	61
Abbildung 7-2: Messstreckenplanung	64
Abbildung 7-3: Reichweitetest Freifeld	65
Abbildung 7-4: Beispiel Koexistenzplanungssoftware	68
Abbildung A0 : Diagramm Reichweite bei Störung des Signals	Anhang

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1-1: Bluetooth im Vergleich zu anderen industrietauglichen Standards</i>	9
<i>Tabelle 1-2: Die verschiedenen Bluetoothklassen</i>	10
<i>Tabelle 1-3: Die verschiedenen Bluetoothstandards</i>	11
<i>Tabelle 1-4: Verwendung der Bluetooth 1.0 Profile</i>	13
<i>Tabelle 1-5: Bluetooth Kernprotokolle</i>	15
<i>Tabelle 1-6: Allgemeingültige Bluetoothigenschaften</i>	19
<i>Tabelle 1-7: Technische Daten & Merkmale Bluetooth 3.0 / 4.0</i>	20
<i>Tabelle 2-1: Frequenzbereiche der drahtlosen Energieübertragungsprinzipien</i>	33
<i>Tabelle 3-1: Automatisierungstechnische Kriterien</i>	41
<i>Tabelle 3-2: Anforderungen nach Ebenen</i>	43
<i>Tabelle 3-3: Grenzwerte Ex-Schutz bei Funk</i>	46
<i>Tabelle 4-1: Bewertungskenngrößen</i>	51
<i>Tabelle 7-1: Bluetoothmodule in Bewegung - Testfall 1</i>	67
<i>Tabelle 7-2: Bluetoothmodule in Bewegung - Testfall 2</i>	67
<i>Tabelle A0 : Testreihen mit BT IO Tester (Phoenix)</i>	Anhang
<i>Tabelle A1 : Bewertungsmatrix_Neu</i>	Anhang
<i>Tabelle A2 : Bewertungsmatrix Beispiel nach Vorgaben des VDE (Anhang Original)</i>	Anhang
<i>Tabelle A3 : Bewertungsmatrix Beispiel nach Vorgaben des VDE (optimiert/vervollständigt)</i>	Anhang

Abkürzungsverzeichnis

<i>AFH</i>	<i>Adaptive Frequency Hopping</i>
<i>AI</i>	<i>Analog Input</i>
<i>AO</i>	<i>Analog Output</i>
<i>AT</i>	<i>Automatisierungstechnik</i>
<i>BER</i>	<i>Bit Error Ratio</i>
<i>BT</i>	<i>Bluetooth</i>
<i>CPU</i>	<i>Central Processing Unit</i>
<i>CSMA/CA</i>	<i>Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance</i>
<i>DECT</i>	<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i>
<i>DI</i>	<i>Digital Input</i>
<i>DO</i>	<i>Digital Output</i>
<i>DSSS</i>	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
<i>E/A</i>	<i>Eingang / Ausgang</i>
<i>EDR</i>	<i>Enhanced Data Rate</i>
<i>EMV</i>	<i>elektromagnetische Verträglichkeit</i>
<i>EN</i>	<i>europäische Norm</i>
<i>EPA</i>	<i>ILB Ethernet Port Adapter der Fa. Phoenix Contact</i>
<i>FHSS</i>	<i>Frequency Hopping - Spread Spectrum</i>
<i>HS</i>	<i>Highspeed</i>
<i>HW</i>	<i>Hardware</i>
<i>IBAM</i>	<i>ILB ADIO MUX der Fa. Phoenix Contact</i>
<i>IEC</i>	<i>International Electrotechnical Commission</i>
<i>IP</i>	<i>Internet protocol</i>
<i>IR</i>	<i>Infrarot</i>
<i>ISM-Band</i>	<i>Industrial, Scientific and Medical Band</i>
<i>LE</i>	<i>Low Energy</i>
<i>LTE</i>	<i>Long Term Evolution</i>
<i>MPI</i>	<i>Message Passing Interface</i>
<i>NFC</i>	<i>Near Field Communication</i>
<i>OSI</i>	<i>Open Systems Interconnection</i>
<i>PDA</i>	<i>Personal Digital Assistant</i>
<i>SAR</i>	<i>spezifische Absorptionsrate</i>
<i>SIG</i>	<i>Bluetooth Special Interest Group</i>
<i>SNR</i>	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>

Abkürzungsverzeichnis

<i>SPS</i>	<i>Speicherprogrammierbare Steuerung</i>
<i>SW</i>	<i>Software</i>
<i>TDMA</i>	<i>Time Division Multiple Access</i>
<i>UNO</i>	<i>United Nations Organization</i>
<i>VDI</i>	<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>
<i>VDE</i>	<i>Verband der Elektrotechnik und Elektronik</i>
<i>WLAN</i>	<i>Wireless Local Area Network</i>
<i>WPAN</i>	<i>Wireless Personal Area Network</i>
<i>ZVEI</i>	<i>Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V.</i>

1 Einleitung und technologische Grundlagen

1.1 Bluetooth - Definition und Hintergrund

Bei Bluetooth (BT) handelt es sich um einen offenen Nahstreckenfunktstandard mit einer klassenabhängigen Reichweite von 10 bis 100 Metern.

Namensgeber für den Standard war der skandinavische König Harald Blaatand (zu Deutsch: Blauzahn), der für seine hervorragenden Kommunikations- und Verhandlungsfähigkeiten bekannt war. Unter seiner Herrschaft (in den Jahren 950 bis 985) vereinigte er die nordeuropäischen Stämme. Ebenso soll Bluetooth die zahllosen Bereiche der Informationstechnik vereinen. Dieser Ursprung lässt sich auch im Bluetooth-Logo finden, welches die zusammengerückten Initialen Harald Blauzahns in Runenform zeigt.



Abbildung 1-1: Bluetooth-Logo (Muller, 2001)

1.2 Entstehung

1994 startete das Unternehmen Ericsson Mobile Communications, ein in Schweden ansässiges, global operierendes Telekommunikationsunternehmen, eine Machbarkeitsstudie für eine Funkschnittstelle. Sowohl preiswert, als auch möglichst stromsparend sollten Mobiltelefone und deren Zubehör miteinander verbunden werden. Im Frühjahr 1998 schloss man sich mit anderen Industriepartnern wie Intel, IBM, Nokia, und Toshiba zur Bluetooth Special Interest Group (SIG) zusammen, deren gemeinsames Ziel es war, eine zuverlässige, flexible und unkomplizierte Lösung für die drahtlose Datenübertragung auf die Beine zu stellen.

1.2.1 Nutzerorganisationen

Die Nutzerorganisation für den Bluetooth-Standard nennt sich Bluetooth Special Interest Group (SIG) und ist gleichzeitig Eigentümer des Bluetooth-Warenzeichens und Herausgeber der Bluetooth-Spezifikationen. Nach der Gründung dieser Gesellschaft im

Februar 1998 wurde seitens SIG im Juni 1999 die erste Spezifikation des Bluetooth 1.0a herausgegeben und im Laufe der Zeit kontinuierlich weiterentwickelt. Der komplette Bluetooth Stack inklusive sämtlicher Anwendungsprofile wurde rein innerhalb dieser Organisation spezifiziert. Eine Auflistung der Standards erfolgt in der Tabelle 1-3. Zu den wesentlichen Aufgaben der SIG gehört die Zertifizierung der Endprodukte, die Einhaltung der gültigen Standards, die Spezifizierung des Protokollstacks und der Anwendungsprofile sowie rechtliche Fragen und das Marketing. Auch Fälle von Markenpiraterie bzw. Lizenzmissbrauch obliegen der SIG, welche sich darum kümmert die illegale Verwendung des BT-Logos auf unsertifizierten Produkten einzudämmen. Somit versucht sie Verbraucher vor dem Erwerb von BT-inkompatiblen Geräten zu bewahren und das eigene Ansehen nicht durch gefälschte Produkte zu schmälern. Die Mitgliederzahl der SIG wuchs nach aktuellen, offiziellen Angaben auf über 20.000 Unternehmen an [Stand: Dezember 2013].

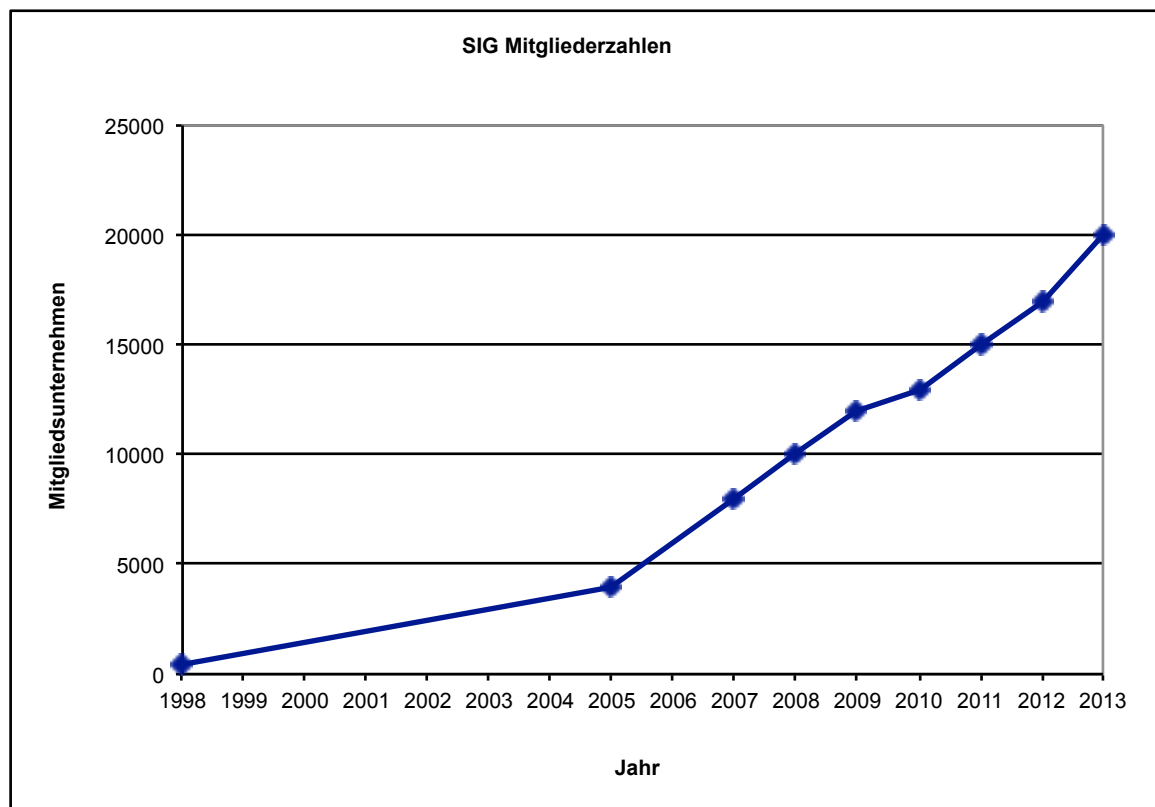


Abbildung 1-2: SIG Mitgliederentwicklung (VDI, 2007)

Die Vielzahl an verfügbaren Funktechnologien bringt auch eine Masse an korrespondierenden Nutzerorganisationen mit sich. So unterschiedlich sie in ihren Spezifikationen auch sein mögen, eines haben fast alle gemeinsam: es fehlt ein konkreter

Bezug zu dem Thema industrielle Automatisierung. Einzig die „ZigBee Alliance“ definiert von vorn herein die industrielle Automation als Anwendungsfeld ihrer Technologie, welche zu Beginn noch stark von der kommerziellen Gebäudeautomatisierung lebte. „Insbesondere für die Einbindung von Sensoren in Automatisierungssysteme ist ZigBee gut geeignet. Profile für industrielle Automatisierungsanwendungen wurden allerdings noch nicht spezifiziert.“ (Verein Deutscher Ingenieure, 2007) Eine Gegenüberstellung von Bluetooth mit ZigBee und zwei weiteren Standards folgt im Abschnitt 1.2.4. (Konkurrenz).

1.2.2 Entwicklung

Nach anfänglichen Kommunikationsproblemen und einem verzögerten Start der ersten Bluetooth-Mobiltelefone im Herbst 2000, setzt sich der kabellose Standard dennoch durch. Dabei profitiert er vor allem von seiner Vielseitigkeit. Im Gegensatz zur alten Infrarotschnittstelle kommunizieren PCs, Notebooks, Handys, PDAs und Drucker jetzt auch ohne Sichtkontakt miteinander. Aufgrund der begrenzten Datenübertragungsrate von 1 MBit/s (Stand 2003) und der z.T. recht geringen Reichweite von 10 Metern (bei 1 mW Sendeleistung), stellt Bluetooth keine direkte Konkurrenz zum Wireless-LAN Standard (IEEE-802.11) dar, welcher zu diesem Zeitpunkt bereits Geschwindigkeiten bis zu 54 MBit/s aufweisen konnte und auch größere Entfernungen überbrückte. Stattdessen entwickelt sich Bluetooth mehr und mehr zu einem Standard für das "kleine Netzwerk" zwischen Peripherie und PC sowie mobilen Geräten untereinander. Eines wird zunehmend klarer: Ein neuer Trend zeichnet sich bereits ab, denn mit Bluetooth - dem Kurzstreckenfunk auf 2,4 GHz - hält die drahtlose Kommunikation Einzug in die mobilen Komponenten. Da Bluetooth auch heutzutage noch rege Verwendung findet, kann man durchaus von einer gelungenen Umsetzung der ursprünglichen Studie sprechen. Die BT-Spezifikationen haben sich immer „dem Zahn der Zeit“ angepasst und wurden kontinuierlich weiterentwickelt. Die offene Systemarchitektur und Interoperabilität sowie softwareseitig neue Versionen und Protokolle halten Bluetooth auch weiterhin auf der Position des Marktführers im Bereich Datenkommunikation auf Kurzstrecken. Die Hardware wurde auch einigen Updates unterzogen, jedoch nur bei vielschichtigen Änderungen, um eine möglichst weitreichende (Abwärts-) Kompatibilität sicherzustellen.

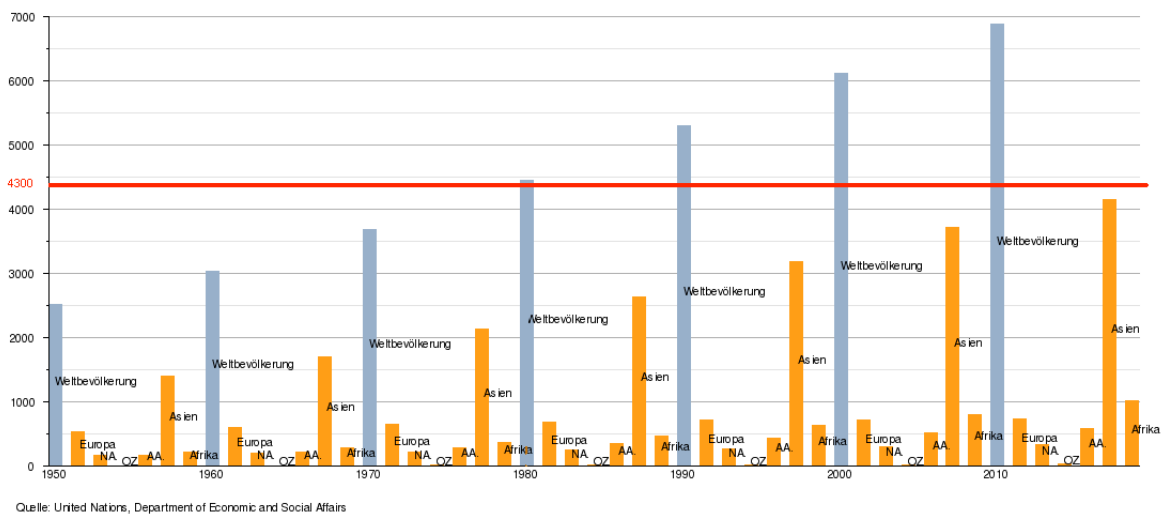


Abbildung 1-3: Adressknappheit bei Bluetooth

Die Abbildung 1-3 soll die mittlerweile bevorstehende Adressknappheit der Bluetoothgeräte veranschaulichen. 2^{32} einmalige Adressen hat die Bluetoothspezifikation vorgesehen, was rund 4,3 Mrd. Adressen ergibt. Mit einer Weltbevölkerung von rund 7,2 Mrd. Menschen (Schätzung der UNO zum Jahreswechsel 2013/2014) wird es da schnell knapp. Erstrecht unter der Annahme, dass viele Bürger der Industriestaaten nicht nur ein Gerät pro Kopf besitzen, welches auf Bluetoothbasis funkt. Hierzulande ist der gleichzeitige Besitz von Handy / Smartphone, Laptop, PC (möglicherweise noch beruflich genutzte Extrageräte) und diverser weiterer „Gadgets“ durchaus üblich. Unter diesen Umständen besteht ein eindeutiger Handlungsbedarf seitens Bluetooth-SIG den Adressraum, ähnlich wie bei der Umstellung von IPv4 auf IPv6, zu erweitern.

1.2.3 Aktueller Stand

Anfang Dezember 2013 veröffentlichte die Bluetooth-SIG den aktuellen Standard 4.1. Dieser zeichnet sich vor allem durch erhöhte Stabilität und schnellere Kopplungszeiten aus. Bedingt durch die schnelle Kopplung, sog. „Pairing“, ist bei den Geräten, die den neuen Standard beherrschen, auch ein besseres Energiemanagement möglich. Das Design moderner Smartphones, Ultrabooks etc. zeigt eindeutig, dass der jahrelange Trend zu immer kleiner werdenden Elektronikgeräten eine äußerst wichtige Rolle bei der Kaufentscheidung des Endkunden spielt. Designs mit möglichst flachen Gehäusen werden aber hauptsächlich auf Kosten schlechterer Kühlung und geringerer Akkukapazität möglich. Die logische Folgerung ist, bei der Entwicklung von zukünftig immer

kompakteren BT-Chips, auf die Minimierung der Stromaufnahme einzugehen. Gerade das Haupteinsatzgebiet, die Integration in mobilen Geräten, welche zwangsläufig auf einen Akku angewiesen sind, verstärkt den Druck auf die Hersteller.

1.2.4 Konkurrenz

Freie Lizenzbänder, freier Luftraum, offene OSI-Standards - dies alles führt dazu, dass sich eine Vielzahl unterschiedlicher Funktechnologien im Laufe der Zeit herausgebildet haben.

Aber auch das klassische Infrarot war anfangs ein ernst zu nehmender Konkurrent.

Es folgt eine kurze Einschätzung, welche die Unterschiede des Bluetoothkonzepts im Bezug auf die Techniken Infrarot, WLAN und ZigBee verdeutlichen soll.

Infrarot-Bluetooth

Der Vorreiter von Bluetooth war die Infrarotverbindung. Dabei wird ein Lichtsignal im Wellenbereich von 850 nm verwendet. Die Anwendungsgebiete von Infrarot und Bluetooth waren anfangs sehr ähnlich. Warum wurde dann Bluetooth entwickelt, wenn es schon eine vergleichbare Technik für ähnliche Anwendungsgebiete gibt? Die Antwort auf diese Frage ist ganz klar darin begründet, dass mit BT im Gegensatz zu IR auch ohne direkte Sichtverbindung kommuniziert werden kann. Weitere Aspekte der jeweiligen Technologien zeigen auf, dass jede Technik für sich, trotz ähnlichen Basisfunktionen klar unterscheidbare Einsatzzwecke bedient. Ein Beispiel bildet der Austausch von digitalen Visitenkarteninformationen. Typischerweise erfolgt dieser Austausch bei direktem Sichtkontakt zweier Personen auf kurze Distanz. Dafür eignet sich IR optimal. Wesentlicher Vorteil gegenüber der neuen Bluetoothtechnologie ist hier die Möglichkeit ohne großartigen Nutzereingriff ein konkretes Zielgerät lokal anzupeilen.

Das Beispiel einer Messeveranstaltung veranschaulicht, wie viele potentielle Bluetooth-Partner gleichzeitig zur Verfügung stehen können. Das mühselige Suchen des richtigen Teilnehmers ist hier der entscheidende Nachteil von BT. Zumal die Störempfindlichkeit bei IR in einem Gebiet, wo viele Verbindungen gleichzeitig bestehen geringer ausfällt. Vorteilhaft ist hier sowohl der Abstrahlwinkel der IR-Verbindung (30 Grad oder weniger) als auch die zuvor als nachteilig empfundene, geringere Reichweite des IR. Alles in allem bietet BT aber dennoch etliche Vorteile. Die Möglichkeit des Aufbaus eines Piconetzes ohne Sichtkontakt, mit bis zu 8 Teilnehmern, eröffnet neue Wege des Datenaustausches

und ermöglicht die passive Synchronisation mobiler Geräte. So muss beispielsweise das Handy nicht mehr aus der Tasche geholt werden, um sich mit einem zuvor gekoppelten PC abzugleichen. Durch die Rundum-Abstrahlung reicht es aus, sich mit dem Handy in die Funkreichweite der BT-Verbindung zu begeben. Die Synchronisation startet dann automatisch. Infrarot müsste dafür erst eine unpraktikable Sichtverbindung herstellen. Der Vergleich der Übertragungsgeschwindigkeiten zeigt, dass BT mit 732 kBit/s dem Infrarot mit 4 MBit/s zu diesem frühen Zeitpunkt ziemlich hinterher hängt [Stand 2000].

Ansatzweise aufholen konnte Bluetooth erst im Jahre 2004 mit 2,16 MBit/s. Übertroffen wurde IR, welches mittlerweile mit einem neuen Protokoll aufwarten und bis zu 16 MBit/s leisten konnte, durch BT erst im Jahr 2008. Durch den BT-Standard 3.0 HS wuchs die maximale Übertragungsrate auf 24 MBit/s an.

Wireless LAN – Bluetooth

Eine weitere Option der drahtlosen Verbindung stellt neben Bluetooth auch der IEEE-Standard 802.11 dar, besser bekannt unter dem Namen WLAN. Bezogen auf die Anfangsjahre des BT-Standards gab es zwischen den beiden Technologien große Unterschiede, da auch zwei relativ gegensätzliche Anforderungsprofile verfolgt wurden. WLAN wurde eher dafür ausgelegt in den Bereichen Büro und Universität zum Einsatz zu kommen, um hier weitläufige Funkstrecken mit hohen Datenraten zu bedienen. Typisch sind mehrere Zugriffspunkte für einen Ethernet-Hub, welcher dann die eigentliche Verbindung zum Netzwerk übernimmt. Die Zugriffspunkte sind im wesentlichen mit Sendern und Empfängern ausgestattete Bridges, welche die Schnittstelle zwischen dem drahtgebundenen- und drahtlosen Netzwerk adaptieren. Lange Zeit schaffte es das WLAN nicht den Markt zu durchdringen, da die nötige Hardware recht kostspielig war. Dieser Sachverhalt wird mit folgenden Zahlen belegt: eine Adapterkarte für Laptops kostete damals noch rund 400 DM und ein Zugriffspunkt schlug mit ca. 2000 DM zu buche. Ein wesentlicher technischer Unterschied besteht auch darin, dass Bluetooth mit ein bis zwei MHz deutlich schmalbandiger funkt als ein WLAN mit seinen verfügbaren 20 MHz Bandbreite. Dem Geschwindigkeitsvergleich mit einem WLAN braucht sich Bluetooth somit theoretisch nie stellen. Die Datenraten lagen zur Markteinführung von Bluetooth weit auseinander.

Beispiel: WLAN 802.11a : 54 MBit/s - BT Version 1.0 : 732 kBit/s

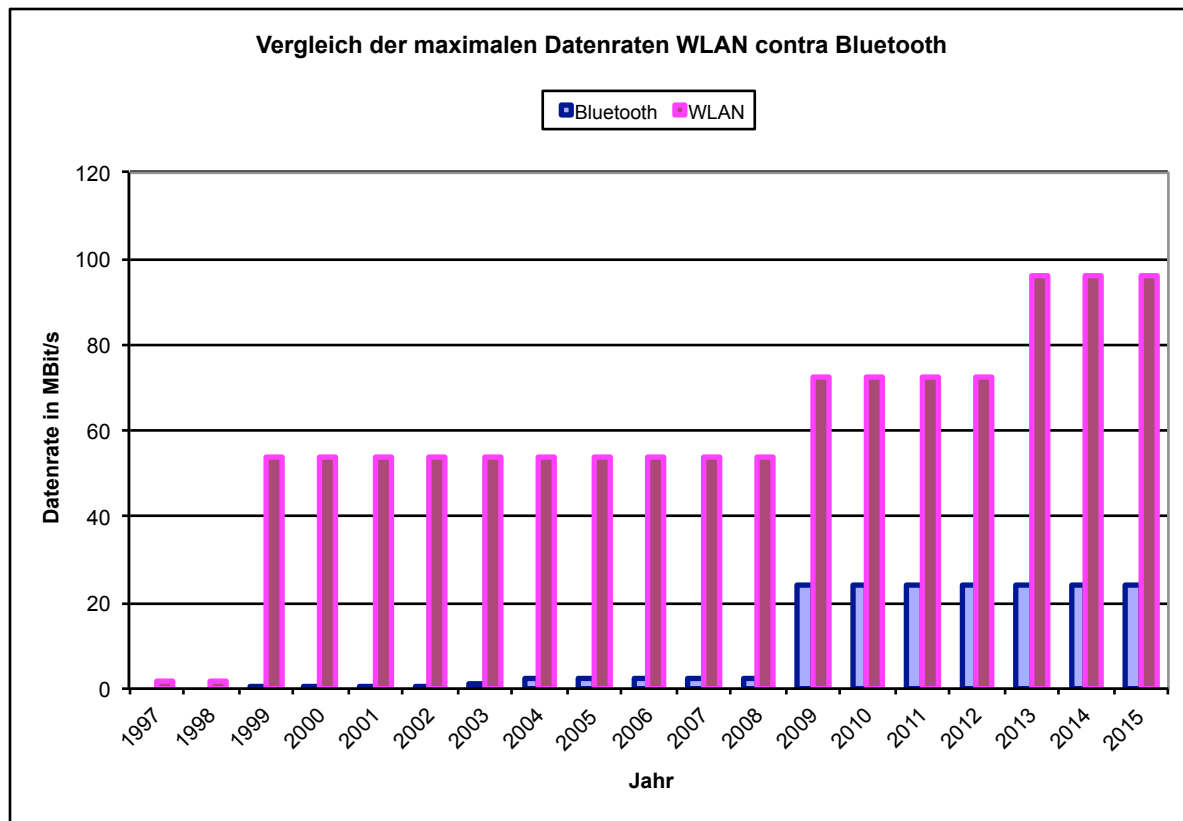


Abbildung 1-4: Datenratenentwicklung von Bluetooth und WLAN

Die in dem Diagramm gegenübergestellte Entwicklung der Datenrate zeigt, dass die Scherung über die Zeit nur leicht zugenommen hat. Bluetooth bleibt im zeitlichen Verlauf relativ konstant ca. 50 MBit/s unterhalb der Datenrate von WLAN. Die bessere Rundumlösung bietet oberflächlich gesehen das WLAN. Dies trifft sicherlich heutzutage sowohl im privaten Bereich, als auch in der Fabrikebene der Industrie zu. In dem Bereich Automation kommt es allerdings auf gänzlich andere Anforderungen an. Hier sind Aspekte wie Echtzeitfähigkeit, Störsicherheit, Zuverlässigkeit, kompakte Bauformen und geringe Stromaufnahme gefragt, nicht zwangsläufig hohe Datenraten. Unter diesen Vorgaben zeigt sich erst das wesentliche Potential von Bluetooth, denn dieser Standard wurde mehr oder weniger unbewusst seitens Bluetooth SIG schon darauf ausgelegt den prinzipiellen Anforderungen der industriellen Automation gerecht zu werden.

ZigBee – Bluetooth

Für den Vergleich von Bluetooth und ZigBee sollte man sich grundlegend erst einmal mit dem IEEE-Standard 802.15.4 vertraut machen. Dieser wurde entwickelt, um die damals vorhandenen Techniken von Bluetooth und WLAN insofern anzupassen, dass mit einem Minimum an Komplexität und Energiebedarf gehaushaltet werden kann. Ziel des Wireless Personal Area Network (WPAN), welches die Basis von ZigBee bildet und das Ergebnis des Standards 802.15.4 darstellt, ist es eine kompakte, kostengünstige, langlebige Funktechnologie auf den beiden unteren OSI-Schichten (1 und 2) zu etablieren. Dieses Prinzip harmoniert optimal mit der Zielstellung der ZigBee Alliance, welche die restlichen Schichten (3 bis 7) aufsetzt. Alles in allem ein vielversprechendes Konzept im Bezug auf den Einsatz in der Automatisierungsbranche. Der ZigBee Standard wurde auf eine extrem schnelle „Aufwachphase“ getrimmt. Daraus resultiert auch der sehr geringe Energieverbrauch der Module. Die zuvor genannten Merkmale dieses Standards sorgen für einen optimalen Einsatz der Technik immer dann, wenn nur gelegentlich Daten übertragen werden müssen. Bluetooth 4.0 LE verfolgt einen nahezu identischen Ansatz. Die ZigBee-Grundsätze waren gewissermaßen der Vorreiter des aktuellen Bluetooth. Als nachteilig erweist sich in dem Vergleich zum Bluetooth die geringere theoretische Datenrate von 250 kBit/s (vgl. Bluetooth 1.0: 732,2 kBit/s) und die höhere Störanfälligkeit bei Koexistenz von BT und WLAN. Dies führte soweit, dass die ZigBee Technik bei den Anwendern letztendlich immer weiter in Kritik geraten ist.

Auch an diesem Punkt wird klar, dass ohne tadellose Verträglichkeit mit anderen Funksystemen keine Chance der Massen Anwendung auf dem Zielmarkt besteht. Somit sind auch die vielversprechenden Ansätze des BT-ähnlichen Funks mit minimalem Energieverbrauch und mehr aktiven Teilnehmern (bis zu 254 Knoten) in dem Bereich Automatisierung nicht so einfach umzusetzen. Die Vielzahl der möglichen ZigBee Geräte in einem Maschennetz führt auch zu einer Vielzahl an redundanten Übertragungskanälen, was sich wiederum in einer besseren, theoretischen Verfügbarkeit niederschlägt. Dass die theoretisch bessere Verfügbarkeit im Vergleich zu der realen Störanfälligkeit das Nachsehen hat zeigt sich dadurch, dass ZigBee nicht wirklich akzeptiert wird. Die negativen Praxiserfahrungen im Bezug auf die Zuverlässigkeit offenbaren Schwachstellen an dem wichtigsten Merkmal einer Funkverbindung.

Tabelle 1-1: Bluetooth im Vergleich zu anderen industrietauglichen Standards

Eigenschaften	Bluetooth 1.0	ZigBee	WLAN	DECT
Frequenzband	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	1,9 GHz
Sendeleistung	100 mW	50 mW	30 mW	250 mW
Spreizverfahren	FHSS	DSSS	DSSS	Schmalband
Bandbreite	1 MHz	1 MHz	22 MHz	1 MHz
Zugangsverfahren	TDMA	CSMA/CA	CSMA/CA	TDMA
theoretische Datenrate	732 kBit/s	250 kBit/s	54 MBit/s	1,1 MBit/s
effektive Datenrate	100 kBit/s	128 kBit/s	20 MBit/s	32 kBit/s
parallele Funkstrecken	ca. 200	16	3	120
adressierbare Teilnehmer	7	65000	herstellerabh.	100
Empfängerempfindlichkeit	-89 dB	-90 dB	-65 dB	-87 dB
Reichweite	ca. 200 m	ca. 20 m	ca. 18 m	ca. 300 m
Roaming	nein	nein	ja	ja
Vollduplex	nein	nein	nein	ja
Strombedarf	mittel	sehr gering	hoch	gering
Verbindungsaufbauzeit	3 s	< 1 s	< 1 s	3 s
Eignung in großen Hallen	ja	ja	nein	ja
Eignung mobiler Teilnehmer	ja	ja	ja	ja
SNR bei Bitfehlerrate 10^{-6}	14 dB	2 dB	20 dB	k.A.
Störung anderer Nutzer	sehr wenig	wenig	hoch	sehr wenig
Störempfindlichkeit	sehr wenig	relativ hoch	hoch	sehr wenig

Bluetooth trumpft in Tabelle 1-1 klar im Punkt Störung und Störempfindlichkeit auf. Die mit ca. 200m angegebene, recht hohe Reichweite des Bluetooth ist durch die hohe Sendeleistung begründet und beschönigt ein wenig. Erfahrungsgemäß kann ein WLAN mit der selben Sendeleistung diese Reichweite ohne Probleme ebenfalls erreichen. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den Angaben dieser Tabelle vereinzelt um veraltete Kennwerte handelt, die lediglich der Vergleichbarkeit dienen.

1.3 Die verschiedenen Klassen und Standards

Tabelle 1-2: Die verschiedenen Bluetoothklassen

Klassen	Beispielanwendung	Sendeleistung	Reichweite (Freifeld)
Klasse 1	Standard-PC	100mW / 20dBm	bis zu 100 m
Klasse 2	Notebook	2,5mW / 4dBm	bis zu 50 m
Klasse 3	Mobiltelefon	1mW / 0dBm	bis zu 10 m

Der Zusammenhang zwischen Stromversorgungsart und der resultierenden Reichweite kann mit der Tabelle 1-2 gut verdeutlicht werden. Ein Mobiltelefon, welches bauartbedingt nur über einen verhältnismäßig kleinen Akku verfügt, muss mit seiner Energie effizient haushalten. Um die Nutzungsdauer des Gerätes nicht großartig einzuschränken, arbeiten die Hersteller mit der kleinsten Sendeleistung und kurzen Reichweiten. Im Gegensatz dazu der stationäre PC. Er ist direkt an das Wechselspannungsnetz angeschlossen und nicht zwangsläufig auf geringen Stromverbrauch angewiesen bzw. dafür ausgelegt. Bluetoothmodule der Klasse 1 finden beim stationären PC Anwendung, welche eine deutlich höhere Reichweite zulassen. Das Notebook als weitverbreiteter Mittelweg zwischen Handlichkeit, Energieeffizienz und Leistung deckt meist seine BT-Funktionalität durch Module der Klasse 2 ab.

Die Unterscheidung von Bluetooth in seine Versionen spiegelt die allgemeine Weiterentwicklung und Reaktion auf neue Herausforderungen wieder. Zum Beispiel legt der BT-Standard 4.1 sein Hauptaugenmerk auf die angestrebte Störnempfindlichkeit zur Funktechnik LTE, über welche im Jahr 2000 noch nicht nachgedacht werden musste. Ein Firmwareupdate ist heutzutage bei jeder Software gang und gebe. Nichts anderes ist es mit den verschiedenen BT-Standards, welche die Reaktion der SIG auf neue Anforderungen darstellt und die Technik somit vor dem zwangsläufigen Aussterben bewahrt. Die Tabelle 1-3 liefert eine Gegenüberstellung aller bisher veröffentlichten Standardversionen.

Tabelle 1-3: Die verschiedenen Bluetoothstandards

Standard	Erscheinungs-Datum	Datenrate	Highlights
1.0	1999	732,2 kBit/s	„Urmodell“
1.1	2001	732,2 kBit/s	Indikator für Signalstärke
1.2	2003	1 MBit/s	„AFH“-Unterstützung, geringere Störempfindlichkeit
2.0 EDR	2004	2,16 MBit/s	Verdreifachung der ursprünglichen Datenrate, abwärtskompatibel
2.1 EDR	2007	2,16 MBit/s	Secure Simple Pairing, Quality of Service
3.0 EDR	2008	2,16 MBit/s	Enhanced Power Control
3.0 HS		24 MBit/s	WLAN-Anbindung
4.0 LE	2009	24 MBit/s	„Low-Energy“ Modus 128 Bit-Verschlüsselung
4.1	2013	24 MBit/s	Dual-Profil, LTE- & IPv6-Unterstützung
4.2	2014	bis zu 60 MBit/s	noch sparsameres „Low-Energy“, 256 Bit Verschlüsselung, neue IPv6 Profile (IPSP)

Die neuesten Standards müssen nicht zwangsläufig die sinnvollste Lösung für jegliche Anwendung darstellen. Im Bereich Automatisierungstechnik haben eine konstante Datenrate und die Zuverlässigkeit der Verbindung oberste Priorität für die Funktelemetrie. Aus diesem Grund verwendet der Hersteller Phoenix Contact auch bei aktuellen Modulen effektiv nur das robuste 2.1 EDR, obwohl die Module die Technik bis zum Standard 4.0 LE integriert haben. Ein Argument für diese Entscheidung ist z.B. der Standard 3.0 HS, welcher eine deutlich höhere maximale Bruttodatenrate aufweist, jedoch aufgrund der WLAN-Anbindung über den Highspeed-Kanal nicht mehr in der Lage ist das Frequenzsprungverfahren zu nutzen. Eben dieser Frequenzsprung ist aber ein entscheidendes Kriterium bei der Bluetoothtechnologie. Das Fehlen dieser Technik kann praktisch von keinem Automatisierer akzeptiert werden. Näher wird auf diesen Zusammenhang im Abschnitt 2.4.2 Koexistenz eingegangen. Eine weitere Stellungnahme seitens Phoenix Contact zum aktuellen BT 4.0 LE und dessen Nutzen machte deutlich, dass die Hersteller etliches an Potential in den neuen Standards sehen, deren Weiterentwicklung als Alternativen auch zu schätzen wissen, aber dennoch genau abwägen müssen, welche Anforderungen zu erfüllen sind. Beispielsweise bietet Phoenix Contact

keinerlei Sensorik an, welche von einem niedrigen Stromverbrauch des 4.0 LE Standards maßgeblich profitieren würde und stellt somit dessen Verwendung vorerst in den Hintergrund.

1.4 Bluetooth-Profile und Protokolle

1.4.1 Profile

In der Tabelle 1-4 ist eine Auswahl von Profilen des BT-Standards 1.0 aufgelistet. Diese anwendungsbezogenen Profile bieten grundlegende Funktionen für eine reibungslose und eindeutige Kommunikation.

Tabelle 1-4: Verwendung der Bluetooth 1.0 Profile

(itwissen.info)

Abkürzung	Bedeutung	Verwendung
A2DP	Advanced Audio Distribution Profile	Übermittlung von Audiodaten
AVRCP	Audio Video Remote Control Profile	Fernbedienung für Audio / Video
BIP	Basic Imaging Profile	Bilddateiübertragung
BPP	Basic Printing Profile	Drucken
CIP	Common ISDN Access Profile	ISDN Verbindungen
CTP	Cordless Telephony Profile	Schnurlose Telefonie
DUN	Dial-up Network Profile	Internet-Einwahlverbindung
ESDP	Extended Service Discovery Profile	Erweiterete Diensterkennung
FAXP	FAX Profile	Faxen
FTP	File Transfer Profile	Standard-Dateiübertragung
GAP	Generic Access Profile	Zugriffsreglementierung
GAVDP	Generic AV Distribution Profile	Audio / Video- Übertragung
GOEP	Generic Object Exchange Profile	Objektaustausch
HCRP	Hardcopy Cable Replacement Profile	Druckanwendungen
HSP	Headset Profile	Sprachausgabe über Headset
HFP	Hands Free Profile	Schnurlose Telefonie im Auto
HID	Human Interface Device Profile	Eingaben
INTP	Intercom Profile	Sprechfunk
LAP	LAN Access Profile	PPP Netzwerkverbindung
OPP	Object Push Profile	Visitenkarten-/ Terminaustausch
PAN	Personal Area Network Profile	Netzwerkverbindung
SAP	SIM Access Profile	Zugriff auf SIM Karte
SDAP	Service Discovery Application Profile	Gerätefindung
SPP	Serial Port Profile	Serielle Datenübertragung
Sync	Synchronisation Profile	Datenabgleich

Die hier aufgeführten Profile bilden nur eine Basis und sollen in Form eines Auszugs dem Verständnis dienen. Im Laufe der Zeit wurden regelmäßig neue Profile definiert und eingebunden. Elementare Profile, welche sich direkt für automatisierungstechnische Anwendungen eignen, sind z.B.: AVRCP, FTP, HID, PAN und SPP.

1.4.2 Protokolle

Innerhalb eines Bluetooth-Protokollsatzes (engl.: protocol stack) unterscheidet man die Kernprotokolle von den adaptierten Protokollen, den sog. Host-Protokollen, der weiter oben liegenden OSI-Schichten. Die zwei wesentlichen Kernprotokolle von Bluetooth sind das Basisband und das Link Manager Protocol (LMP). (Wollert, 2002)

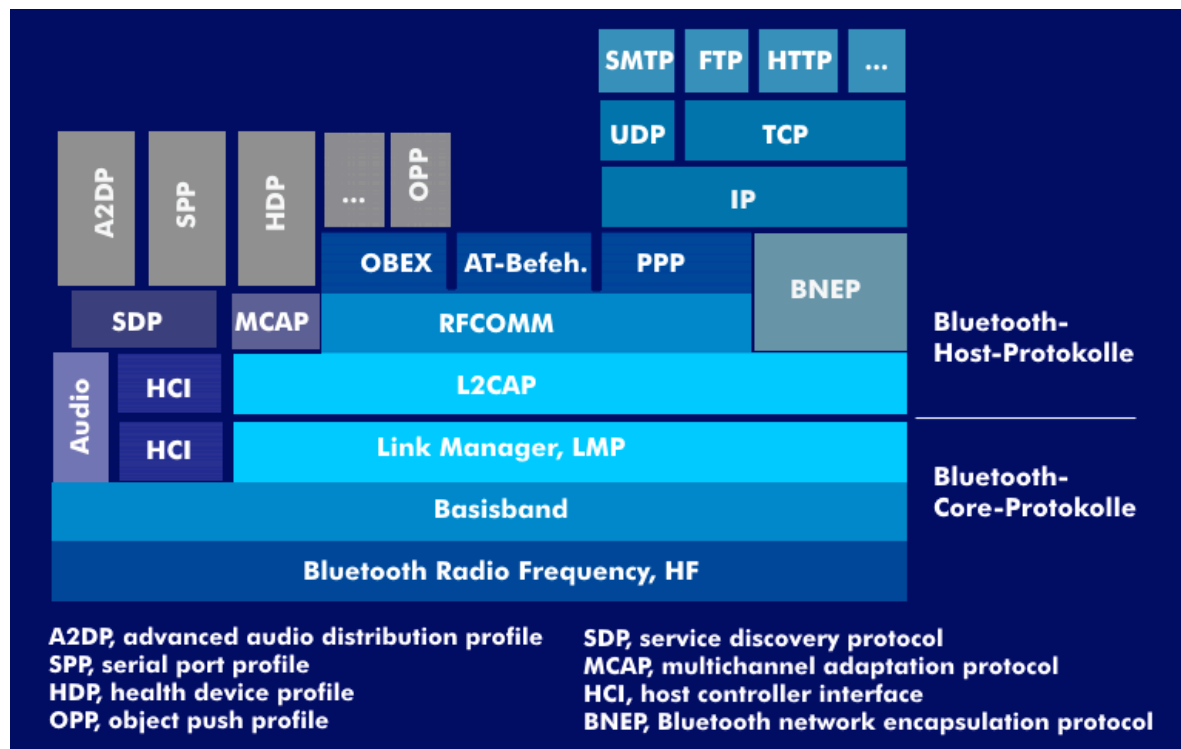


Abbildung 1-5: Bluetooth Protocol Stack (itwissen.info)

An die Abbildung 1-5 schließt sich zum besseren Verständnis eine tabellarische Übersicht zu den Protokollaufgaben an.

Tabelle 1-5: Bluetooth Kernprotokolle

(BT Lexikon, 2009)

Protokoll	Funktion / Aufgabe
Basisband	Physikalische Kanäle und Verbindungen Adressierung Sicherheit Timing Frequenzsprung Fehlerkorrektur
LMP	Authentifikation Pairing Datenverschlüsselung Netzverwaltung (Hold-/Sniff-/Park Modus) Power Control Link Überwachung
L2CAP	Priorisierung von Nutzdaten Multiplexen von Protokollen Segmentierung großer Datenpakete Gruppenverwaltung
SDP	Aufbau Ad-hoc-Netzwerke Dienstinformationen Leistungsmerkmale
RFCOMM	Emulation serieller RS232 Anschlüsse „Kabelersatzprotokoll“
TCS BIN	Protokoll zur Rufsignalisierung (Sprache und Daten) AT-Befehle

1.5 Vielschichtigkeit beim Einsatz von Bluetooth

Dass sich Bluetooth umfangreich etablieren konnte, zeigen die im Folgenden aufgelisteten Beispiele:

- Mobiltelefone / Smartphones / Smartwatches
- Netbooks, Laptops, Tablet-PCs, PDAs, stationäre PCs
- Gebäudeautomation (Schalter, Dimmer, Bewegungsmelder, Leuchten, Stellantriebe, Smart-Home-Controller, Heizungssteuerungen, Schließsysteme / Zugangskontrolle)
- Radio, Wecker, HiFi-Anlage

- Fernseher, Beamer
- Peripherie (Tastatur, Maus, Mikrofon, mobile BT-Lautsprecher, Headsets, Drucker, Scanner)
- Fahrradschloss, Sonnenbrille, „GoogleGlass“, elektrische Zahnbürste, E-Zigarette
- Fitnesssektor (Personenwaage, „Nike+“-Sensor, Pulsmesser)
- Automotive (Fahrzeugdiagnose über drahtlose CAN-Bus Schnittstelle)
- Medizintechnik (Hörgeräte, Orthodädie – Einstellung von Prothesen, Schnittstelle zwischen Blutzuckermessgerät und Insulinpumpe)

Wie bereits erwähnt gibt es auch ähnlich konkurrierende Funktechniken. Bemerkenswert ist allerdings, dass es bisher kein anderer Standard geschafft hat die Marktführung von Bluetooth im Bereich Punkt-zu-Punkt-Kommunikation der mobilen Unterhaltungselektronik zu übernehmen. Das liegt daran, dass die anderen Standards nicht so vielseitig und ausgereift sind. Bestes Beispiel dafür ist der Near-Field-Communication-Standard (NFC). Es ist eine recht junge, moderne Technologie mit viel Potential. Jedoch wird diese bisher nur von verhältnismäßig wenigen, großen Herstellern unterstützt. Solange sich nicht alle relevanten Unternehmen dazu bekennen, diese Technik auch in Zukunft einzusetzen, wird es auch nicht die gewohnte Breite an Peripherie geben, mit der BT derzeit den Markt abdeckt. Viele, mehr oder weniger „technikaffine“ Menschen, nennen Smartphones oder Tablets ihr Eigen, welche heutzutage den Sinn des BT-Controllers optimal erfüllen, weil sie die klassische Bedien- und Beobachtungseinheit darstellen. Des Weiteren hat Bluetooth 2014 die 90%-Marke der Integration in Mobiltelefone überwunden. Gerade die Vorstellung alles über ein Gerät steuern zu können ist derzeit die treibende Kraft im Bereich Unterhaltungselektronik. Als Argument diesbezüglich eine kurze zeitliche Betrachtung der Entwicklung absoluter Absatzzahlen von Endgeräten, ermittelt durch die Bluetooth SIG. Diese spiegelt das generelle Interesse der Endverbraucher an der oft als „veraltet“ bezeichneten Technik wieder, jedoch nicht unbedingt das Interesse der Industrie.

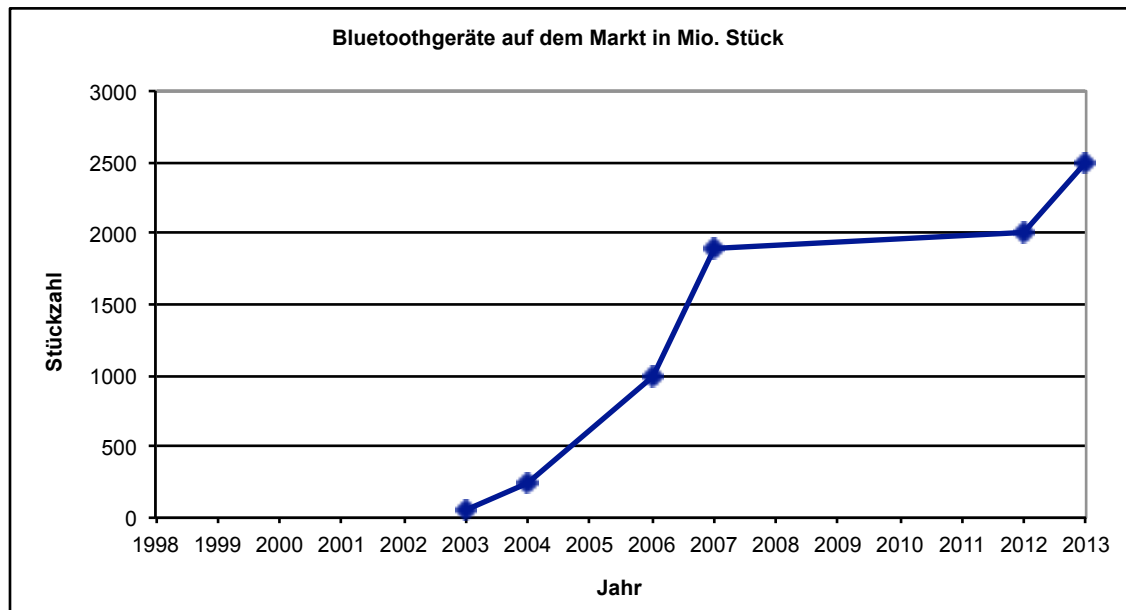


Abbildung 1-6: Verkaufszahlen Bluetoothgeräte

1.6 Verbreitung und Bedeutung der Technik im industriellen Umfeld

Neu ist die BT-Thematik nicht unbedingt, jedoch wurde sie bis jetzt eher selten in der Planung von Kommunikationsstrecken der Industrieautomation zur Anwendung gebracht. Bei Phoenix Contact hat man sich schon Mitte der 90er Jahre konzeptionell mit dem Einsatz von Funktechnologien im Industrieumfeld beschäftigt, so Roland Bent. "Wir sehen mittelfristig große Chancen für die Funktechnik, als Alternative und Ergänzung zur kupfer- und lichtwellenleitergebundenen Datenübertragung" (Ciupek, 2002). Weidmüller-Produktmanager Meyer dazu: "Ein industrieller Einsatz wird gerade zwischen verschiedenen Hightech-orientierten Kunden und unseren Ingenieuren diskutiert" (Ciupek, 2002). In Hannover präsentierte das Unternehmen eine Bluetooth-Lösung in der industrietauglichen Schutzart IP64. Wago-Geschäftsführer Hohorst sieht vor allem in Service und Diagnose große Chancen für die Anwendung von Bluetooth in der Fabrikautomation. In aktuellen Wago und Phoenix Contact Prospekten zum Thema Funkklemmen wird immer wieder mit einer ausgereiften Technik, einer sehr robusten Übertragung, kurzen Zykluszeiten und einer einfachen Systemintegration geworben. Diese beiden etablierten Hersteller, mit denen jeder berufserfahrene Automatisierer mit Sicherheit im Laufe der Zeit bereits mehrfach in Kontakt gekommen ist, lassen einen die

Überzeugung von Ihren Produkten deutlich spüren. Dies vermittelt den Eindruck, dass die Funktionalität bereits ausgiebig getestet wurde.

Allgemein ist festzuhalten, dass der Markt für Funktechnologien auf Automatisierungsebene definitiv gegeben ist und ständig weiterentwickelt wird. Aktuell haben sich etliche Standards etabliert, aus denen der Kunde die für sich richtige Entscheidung treffen muss. Die namenhaften Hersteller bieten mittlerweile ein breites Produktportfolio an. Dieses kann, wie von drahtgebundener Technik gewohnt, auch auf individuelle Anforderungen modular angepasst, kombiniert und erweitert werden.

„Der Markt Wireless-Automation ist riesig, es gibt immer mehr Anbieter und die Liste der Standards ist lang: W-LAN, Bluetooth,[...] Zigbee,[...]usw. Das Thema Wireless in der Automation wird in Zukunft noch mehr an Bedeutung gewinnen. Das Motto muss hier lauten: So viele Standards wie nötig und so wenige wie möglich.“ (sps-magazin.de, 2008)

Ein weiteres Beispiel, dass Bluetooth gern in der Elektrobranche eingesetzt wird, um herstellerseitig Produktlinien auf neu aufkommende Kundenwünsche anzupassen, ist die Firma Faro, welche nach eigenen Angaben „weltweit führender Anbieter von mobilen, Koordinaten -Messmaschinen und Messsoftware“ (presseportal.de, 2008) ist. Hier wird die Integration von Bluetooth angepriesen, mit der eine drahtlose Schnittstelle zur Messwertübergabe realisiert wurde. „Benutzer können Objekte inspizieren, digitalisieren und die aufgenommenen Daten dann über Entfernungen von bis zu zehn Meter kabellos übertragen - sogar durch Wände hindurch. Bluetooth ist für den Einsatz in unseren Systemen gegenüber Wi-Fi vorzuziehen, da die Einrichtung schneller vonstatten geht, die Akkulaufzeit länger und der Stromverbrauch geringer ist“ (presseportal.de, 2008), betont Orlando Perez, Senior Technical Product Manager bei Faro. Die Vorstellung der Produktserie von 2008 verifiziert auch einen interessanten Aspekt aus dem ursprünglichen Bluetoothkonzept der SIG, welcher die einfache Benutzbarkeit und Komforterweiterung durch die Funktechnologie beschreibt.

Bluetooth hat es geschafft den in der Industrie ansässigen Herstellern komplett neue Wege zu eröffnen. Beispielsweise hat die Firma Bosch im Jahr 2014 ihr Akkuschauber-Sortiment insofern erweitert, dass Bluetooth-Technik als Schnittstelle für eine Montageoptimierung im Bezug auf Qualitätssicherung zum Einsatz kommt. Somit kann der Monteur in der Werkhalle Anlagen der Serienfertigung zusammenbauen und im Hintergrund funkt Bluetooth spezifische Daten wie Einschalthäufigkeit und Drehmoment

an einen zentralen Access Point, der bis zu sieben Akkuschauber verwaltet. „Das Akku-Schraubensystem Bluetooth EXACT denkt mit. Die BT-EXACT Schrauber erhalten ihre Befehle von der Steuerung EXAConnect, die den Arbeitsfortschritt in Echtzeit speichert. Falls gewünscht, kann das System mit externen Geräten wie SPS, Barcodescanner oder Prozessrechner kommunizieren und Befehle empfangen. Verbessern Sie Ihre Montagequalität und vergessen Sie nie wieder eine Schraube“ (bosch exact).

1.7 Technische Daten

1.7.1 Klassen- und standardunabhängige Daten

Tabelle 1-6: Allgemeingültige Bluetooth-Eigenschaften

Kriterium	Eigenschaft
Frequenz	2,4 GHz – ISM Band (lizenzfrei)
Frequenzbereich	2402 bis 2480 MHz
Wellenlänge	12,5 cm
Bandbreite	bis zu 79 MHz
Sprachkanäle	3
Leistungsklassen	siehe Tabelle 1-2
offizielle Standards	siehe Tabelle 1-3
Verbindungstyp	Frequenzsprungverfahren Spreiz-Spektrum
maximale Teilnehmerzahl	8 (davon 1 Master und 7 Slaves) pro Piconet
Authentifizierung	128 Bit
Verschlüsselung	variabel 8 bis 256 Bit
Datentransfer	binäre Daten – seriell, sequentiell übertragen

1.7.2 Vergleich von zwei aktuell weitverbreiteten Standards

Tabelle 1-7: Technische Daten & Merkmale Bluetooth 3.0 / 4.0

(BT Lexikon, 2009)

Standard	Bluetooth 3.0 EDR	Bluetooth 4.0 LE
Reichweite (Klasse 1)	100m	10 bis 50m
Stromaufnahme	rund 40 mA	unter 20 mA
Datenrate	bis zu 2,16 MBit/s	bis zu 24 MBit/s
Ansprechzeit	Sekundenbereich	unter 3ms
Frequenzbänder	79 Stück à 1 MHz	40 Stück à 2 MHz
Sprachübertragung	möglich	nicht möglich
Abwärtskompatibilität	gegeben	nicht gegeben

Die Vorzüge des aktuellen BT-Standards 4.0 sind offensichtlich. Deutlich höhere Datenraten, geringerer Stromverbrauch und eine drastisch verbesserte Ansprechzeit konnten allerdings nur auf Kosten der Abwärtskompatibilität erreicht werden. Die Anzahl der Frequenzbänder wurde halbiert, um über die Verdopplung der Bandbreite höhere Datenraten zu erreichen. Dies könnte sich allerdings auch auf eine schlechtere Koexistenz auswirken, da die Bänder jetzt nicht mehr über so viele freie Sprungstellen zum Ausweichen verfügen. Im Kapitel 2.4.2. (Koexistenz) wird dieser Sachverhalt detaillierter dargestellt.

2 Einsatzvorbereitung und Einsatzgrenzen

2.1 Eignung von Bluetooth für verschiedene Bereiche

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen und Bereiche, in denen Funklösungen zur Datenübertragung genutzt werden. Die Hauptbegründer der SIG waren eine Mischung aus der Mikro- sowie Unterhaltungselektronik- Branche und Firmen, welche sich im Bereich Mobilfunk und IT positionierten. Dieser erweiterte, „innere Kern“ der SIG ist bislang auch Hauptnutzer der Technologie im Bezug auf den gesamten Marktanteil.

Weiter auf dem Vormarsch sind allerdings auch die Medizintechnik und die Automatisierungstechnik (AT) mit ihren verschiedenen Gruppierungen wie z.B. der Gebäudeautomation und der Steuerungstechnik. Das allgemeine Bild der Bluetoothnutzung wird heutzutage dennoch fast ausschließlich auf Mobiltelefone und Computerzubehör beschränkt. In diesem Zusammenhang stellen sich erst recht die Fragen:

„War Bluetooth nicht das, was bei den alten Handys schon nie wirklich funktionierte?“

„Ist Bluetooth nicht mittlerweile aus der Mode?“

„Ist Bluetooth fähig den komplexen Anforderungen der modernen Industrie und deren rauen Umfeld gewachsen zu sein?“

Es kommt das Gefühl auf, dass viele Menschen gar nicht wissen, in welchen alltäglichen Geräten Bluetooth heutzutage überall implementiert ist und - aller Voraussicht nach - auch in Zukunft verbaut werden wird. Dies liegt unter anderem daran, dass einige Technologien wie z.B. „ZigBee“ nahezu komplett identisch mit Bluetooth sind, aber anders heißen und daher von der Allgemeinheit vermutlich kein tiefergehendes Interesse an der Wurzel der heutigen Nahfunktechnik besteht. Auf welcher Basis etwas funkt ist dem Benutzer meist egal, die Hauptsache ist, dass es funktioniert. Bezug nehmend auf die erste Frage: Es ist durchaus richtig, dass es etliche Fehler und Störungen bei der Einführung des ersten Standards (1.0) um die Jahrtausendwende gab, jedoch zählt Bluetooth mittlerweile zu einer der zuverlässigsten Funkverbindungen auf dem Markt. Das aktuelle Bluetooth scheint ausgereift zu sein, was man z.B. Anfangs von der, in gewissem Maße konkurrierenden, „NFC-Technologie“ nicht behaupten konnte. Den Beweis für die erfolgreiche Etablierung liefern zahlreiche namenhafte Firmen, welche sich mit dem Thema Bluetooth in der

Automatisierungstechnik und verwandten Bereichen intensiv befassen. Ein Beispiel dafür ist die Fa. Phoenix Contact, deren Ingenieure sich auch weiterhin ausgiebig mit Bluetooth in Automatisierungsanwendungen befassen werden. Zitat Mitarbeiter Phoenix Contact: „Bluetooth ist für uns ein großes und wichtiges Thema und keinesfalls eine veraltete Technologie“ (Liebelt, 2015).

2.2 Wann wird der Einsatz sinnvoll?

Ob ein Einsatz von Bluetooth sinnvoll erscheint, muss zunächst über folgende Vorbetrachtungen abgewogen werden:

- Vorteile / Risiken gegenüber der „klassischen Verdrahtungen“ abwägen (falls Verdrahtung eine Alternative ist)
- Ist die Spannungsversorgung der Funkmodule vor Ort realisierbar?
 - sich daraus ergebend : BT-Klassen-Auswahl
- Welche Umgebungsbedingungen müssen berücksichtigt werden?
 - Gibt es weitere Geräte, die im ISM-Band funken (WLAN, ZigBee, nanoNet...) und somit die Stabilität des BT negativ beeinflussen?
 - Koexistenzplanung / Simulation
 - Gibt es andere technische Störquellen (Elektromotoren, Schweißgeräte, Frequenzumrichter etc.)

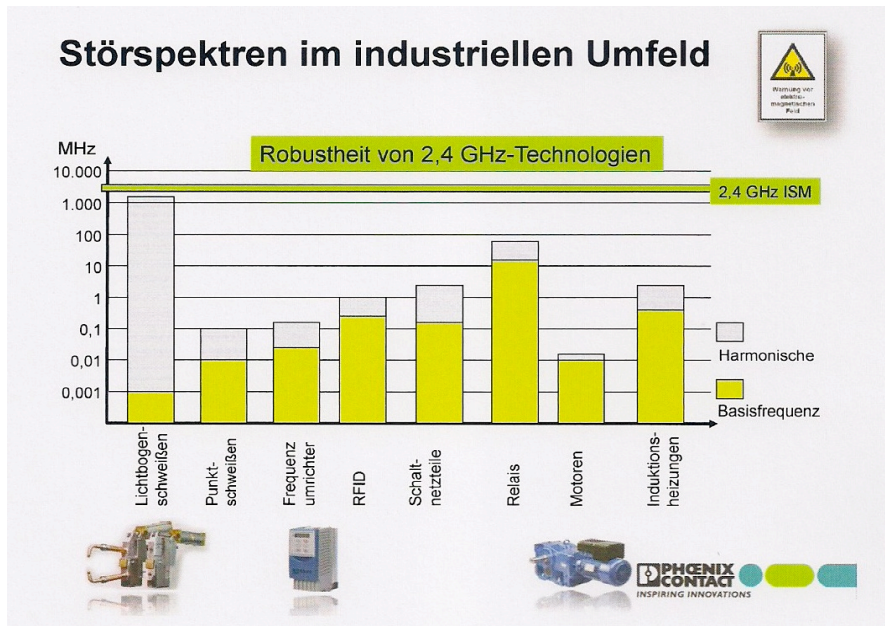


Abbildung 2-1: Störungen - industrielles Umfeld (Jörg Brasas, 2014)

- Soll BT im Innen- oder Außenbereich verwendet werden?
 - Faktoren / Risiken Innenbereich:
 - Temperaturbereich an bestimmten Anlagen(-komplexen) (z.B. Kesselhaus Kraftwerk)
 - Dämpfung/Schirmung/Reflektion an Wänden, Decken und Anlagenteilen
 - elektrische Störfelder
 - Faktoren / Risiken Außenbereich:
 - Temperaturbereich
 - störende Gebäude oder Vegetation in Luftlinie
 - Hochspannungsmasten, Funkmasten
 - IP-Schutzart / extra Hausung gegen Wiedereinflüsse nötig?
 - Ist der Einsatz von zusätzlichen Antennen notwendig / möglich? (Reichweite, Richtcharakteristik)

Antennenauswahl

Reichweiten

Antenne	Umgebung	Reichweite (bei Sichtverbindung)
Omni-Antennen	in Maschinenhallen außerhalb von Gebäuden	50 bis 100 m 50 bis 300 m
Gewinn-/ Richtantennen	in Maschinenhallen außerhalb von Gebäuden	50 bis 200 m bis zu 3 km
Parabolantenne	in Ausnahmefällen	bis einigen Kilometern

Reichweiten sind abhängig von der jeweiligen Anwendung.
Die hier genannten Werte können über- und unterschritten werden.


 PHENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

Abbildung 2-2: Reichweite bei verschiedenen Antennen (Jörg Brasas, 2014)

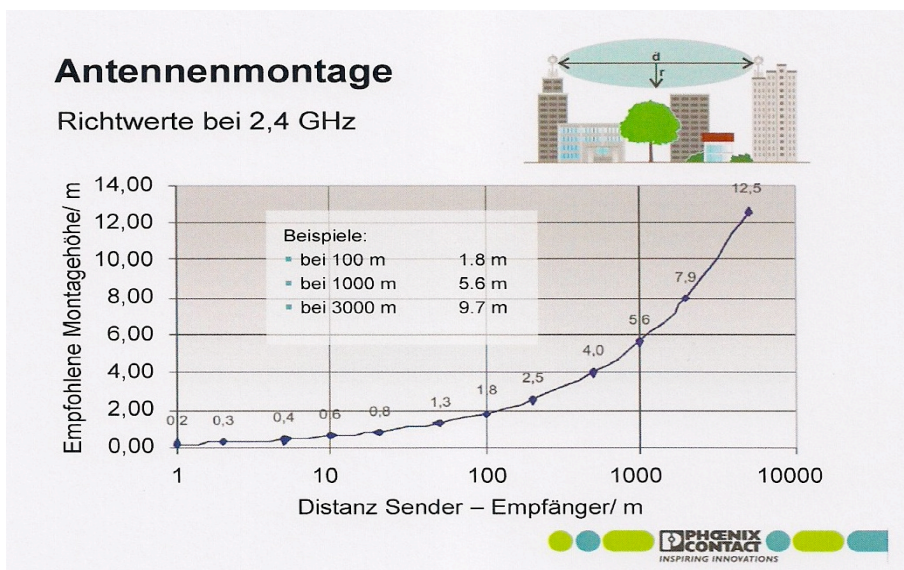


Abbildung 2-3: Antennenmontageübersicht (Jörg Brasas, 2014)

- Wie soll die Übertragung arbeiten?
 - kontinuierliche, oder ereignisgesteuerte Messwertübertragung?
 - Menge bzw. Abtastintervalle der Messdaten
 - Ist die benötigte Datenrate bzw. Reaktionszeit mit BT erreichbar?
 - Ist eine eventuelle Echtzeitfähigkeit durch den Einsatz gefährdet?

- Wie zuverlässig muss das System arbeiten?
- Welche Dienste (Protokolle) und Sicherheitsanforderungen werden benötigt?
- Welche Schnittstellen sollen miteinander kommunizieren?
- Wie viele Geräte befinden sich in einem Netzwerk?
 - Muss ein Pico- oder Scatternet aufgebaut werden?
- Anschaffungskosten der Funkmodule inklusive Schnittstellen abwägen

2.3 Voraussetzungen Hardware und Software

Damit eine funktionierende Bluetooth-Verbindung aufgebaut werden kann, werden die im folgenden Abschnitt aufgeführten Komponenten benötigt.

Hardware:

- BT-Controller
- Mikroprozessor
- Frequenzgenerator (Schwingquarz)
- Spannungsregler
- Modem
- (externe) Antenne
- Eingangs- bzw. Ausgangs-Schnittstellen

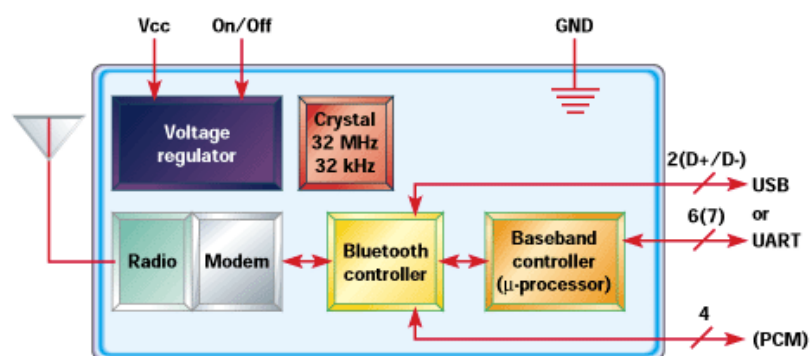


Abbildung 2-4: Hardwarekomponenten eines Bluetoothmoduls (BT Lexikon, 2009)

Software:

- BT-Treiber, Suchfunktion für BT-Partner, automatischer Verbindungsaufbau, Sicherheitskonfiguration etc.
- Anwenderprogramm für Datennutzung
- eventuelle Einbettung in andere Programme zur Weiterverarbeitung der Daten

2.4 Hindernisse und Ausschlusskriterien

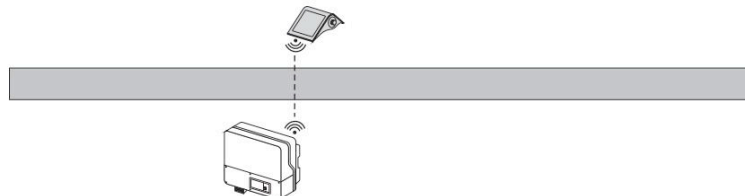
2.4.1 Allgemein

Bei Funkverbindungen werden gerade im Bereich Automatisierungstechnik äußerst stabile Datenraten gefordert. Prinzipiell sollte hier mit einer hohen Sendeleistung (Klasse 1) ein Abreißen der Funkverbindung vermieden werden. Jedoch erfordert die maximale Sendeleistung auch hohe Anforderungen an die Energieversorgung, sodass die BT-Module schnell unhandlich werden (Volumen, externe Spannungsversorgung, sperrige Antennen). An dieser Stelle müssen in der Funktechnik bekannte Kompromisse eingegangen werden. Weite Strecken lassen sich oft nur mit sperrigen Modulen zuverlässig überbrücken. Fällt die Wahl allerdings auf eine kompakte Bauweise, so ist mit spürbaren Reichweiteeinschränkungen zu rechnen. Zu Letzterem wurden vor ca. 12 Jahren auch neue Ansätze erforscht, welche erneut am ZigBee Standard fest zu machen sind. Dieser ermöglichte erstmalig im Jahr 2005 den kommerziellen Vertrieb von besonders stromsparenden und somit auch ausschließlich per Batteriebetrieb mehrere Monate lang funktionsfähigen Sensoren. Dieses knapp bemessene Energiemanagement bringt folglich auch die zuvor genannten Nachteile mit sich. Da prinzipbedingt die Sendeleistung herabgesetzt werden muss, eignet sich diese Technik nur für die Überbrückung kurzer Distanzen zwischen Sende- und Empfangsmodul. Auch kleinere Hindernisse schließen somit den Einsatz schneller aus. Hindernisse in diesem Sinne können vielfältig sein. Die Reichweiteangaben beziehen sich meist nur auf optimale Bedingungen im freien Raum und fallen somit in den Fabriken und Werkhallen der Automatisierungsbetriebe mit unter deutlich geringer aus. Störquellen sind hier vor allem andere Maschinen (Schweißgeräte, Frequenzumrichter etc.) und Gebäudeteile wie massive Wände, Türen, Decken, Stahlkonstruktionen, Blechverkleidungen und Flüssigkeitstanks. Des weiteren spielt es

auch eine Rolle, in welchem Winkel die Funkwellen auf die Hindernisse treffen. Als Beispiel soll nachfolgend eine massive Betonwand dienen.

Durchdringung gerade

Wenn die Funkwellen zum Beispiel eine Wand gerade durchdringen können, ist die Strecke durch die Wand kleiner und damit die Dämpfung der Funkwellen geringer.



Durchdringung schräg

Wenn die Funkwellen zum Beispiel eine Wand schräg durchdringen müssen, um von einem zum anderen Gerät zu gelangen, ist die Strecke durch die Wand länger und damit die Dämpfung stärker, als bei Funkwellen, die die Wand gerade durchdringen.

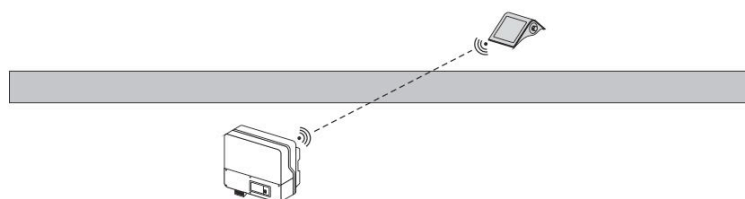


Abbildung 2-5: Durchdringungswinkel (SMA Technology, 2009)

2.4.2 Koexistenz

„Generell sind durch den häufigen Einsatz und die starke Verbreitung Kollisionen der verschiedenen 2,4-GHz-Technologien schon vorgegeben und die Koexistenz der Funktechnologien wie bei kombinierten Bluetooth / WLAN-Systemen erhält eine wichtige Bedeutung.“ [F1]

Bluetooth teilt sich das 2,4 GHz Band bekanntermaßen in 79 Frequenzstufen ein, wovon jede genau 1 MHz Bandbreite umfasst. Das Frequenzsprungverfahren sorgt für eine möglichst kurze Belegungsdauer der jeweiligen Kanäle indem es bis zu 1600 mal pro Sekunde zwischen den einzelnen 1 MHz Bändern hin und her springt. Dadurch sind Bluetooth-Verbindungen untereinander sehr störungsempfindlich. Gleichzeitig ist aber die Wahrscheinlichkeit für eine Kollision mit einem WLAN-Kanal mit 28 % (=22/79) bei kontinuierlichem Senden und Empfangen nicht gerade gering. Diese Wahrscheinlichkeit errechnet sich aus der Belegungswahrscheinlichkeit der 79 Bänder, wovon ein einziger WLAN-Kanal bereits 22 Bänder in vollem Umfang belegt. Bei Verwendung eines zweiten WLAN-Netzes im selben Wirkungsbereich, verringert sich jedoch die Bandbreite, in der sich das BT frei „bewegen“ kann, nochmals um 22 Kanäle. Somit bleiben BT schnell nur

noch 44% des eigentlichen Bandes zum Datentransfer übrig. Weitere Untersuchungen zum Thema Koexistenz wurden seitens Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. (ZVEI) im Jahr 2007 getätigt. Ziel war es in Kooperation mit dem Magdeburger Institut für Automation und Kommunikation (ifak) einen firmenübergreifenden Praxistest zu realisieren. Aufgrund häufig angezweifelter Koexistenz und generellen Vorbehalten „Wireless sei unzuverlässig und nicht sicher“ war man motiviert diese Vorurteile genauer zu untersuchen und wenn möglich Gegenteiliges zu beweisen. In einer Halle der Experimentierfabrik (ExFa) wurden in 186 Testreihen 80.000 Datenpakete vermessen.

Testaufbau für den Komplextest

ZVEI:

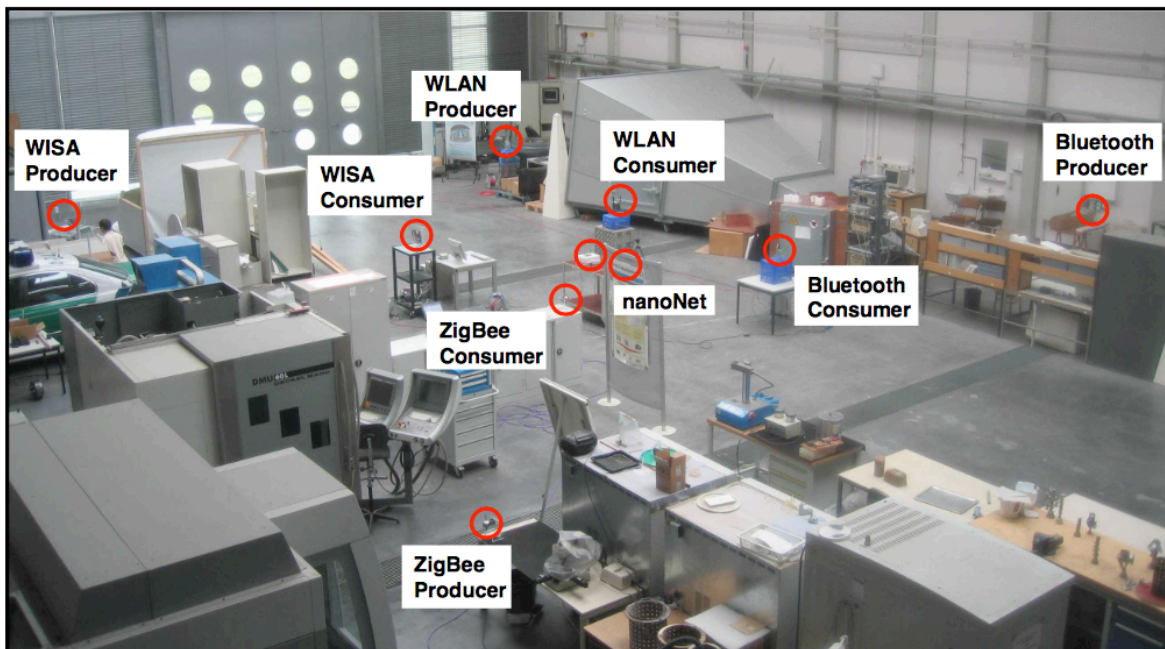


Abbildung 2-6: Testaufbau ExFa Magdeburg (Hüppe, 2007)

Wie zu sehen ist, kamen neben den Bluetooth- und WLAN-Strecken auch WISA, ZigBee und nanoNet als potenzielle Störer zum Einsatz. Als Ergebnis dieser Studie konnten in der Expertenrunde zusammenfassend folgende Aussagen getroffen werden:

- „Wird 1 WLAN betrieben, können die anderen Technologien wie Bluetooth, ZigBee, WISA in der Regel parallel betrieben werden, ohne dass es zu nennenswerten Beeinträchtigungen kommt.“ (Hüppe, 2007)

- „Wird mehr als 1 WLAN eingesetzt, ist beim parallelen Betrieb anderer Technologien wie Bluetooth, ZigBee, WISA mit Beeinträchtigungen zu rechnen.“ (Hüppe, 2007)
- „Wird das ISM-Band durch drei überlappungsfreie WLAN-Kanäle genutzt, können nur noch andere Funksysteme, die die Frequenzbereiche zwischen den WLAN-Kanälen nutzen können, mit dem WLAN-System koexistieren.“ (Hüppe, 2007)
- „WLAN hat keinen entscheidenden Einfluss auf das Zeitverhalten von Bluetooth und WISA gezeigt.“ (Hüppe, 2007)
- „Bei keiner der Kombinationen aus Bluetooth, WISA und ZigBee konnten nennenswerte Beeinflussungen auf das Zeitverhalten festgestellt werden.“ (Hüppe, 2007)

Da nanoNet das gesamte Frequenzband belegt, ist ein störendes Verhalten im Bezug auf die anderen Technologien möglich. Am ehesten wurde ZigBee vom nanoNet gestört.

Die Studie kam zu folgendem Fazit:

„Das Frequenzband bei 2,4 GHz ist gut geeignet, insbesondere für die Fabrikautomation, bezüglich erzielbarer Knotendichte, Reichweite und Energiebedarf. Einflüsse aus der Industrieumgebung sind gegeben, beeinflussen aber nur die Absolutwerte der Übertragungs- und Zykluszeit“, Datenverluste sind nicht aufgetreten (Paketfehlerrate gleich Null).“ (Hüppe, 2007)

Die Ergebnisse dieser Untersuchung belegen, dass Bluetooth sowohl mit WLAN als auch mit den anderen 2,4 GHz Funktechniken problemlos koexistieren kann. Wie vermutet erweist sich Bluetooth sogar als störsicherster Kandidat im Vergleich zu den anderen Technologien.

Generell bleibt zu sagen, dass die Verwendung / Installation neuer Funktelemetrie immer ein gewisses Risiko mit sich bringt. Achtet man bei der Planung allerdings (sofern möglich) auf eine räumliche oder zeitliche Trennung der Systeme kann die Verlässlichkeit so weit gesteigert werden, dass keinerlei Datenverluste auftreten. Bei Bluetooth ist die räumlich / zeitliche Trennung sicherlich auch anzustreben, jedoch sorgen die Frequenzsprünge für ein zusätzliches Maß an Verbindungssicherheit. Das AFH / FHSS macht letztendlich den Unterschied bei Bluetooth aus. Diese Technik sorgt für eine störsichere, dauerhaft verlässliche Verbindung.

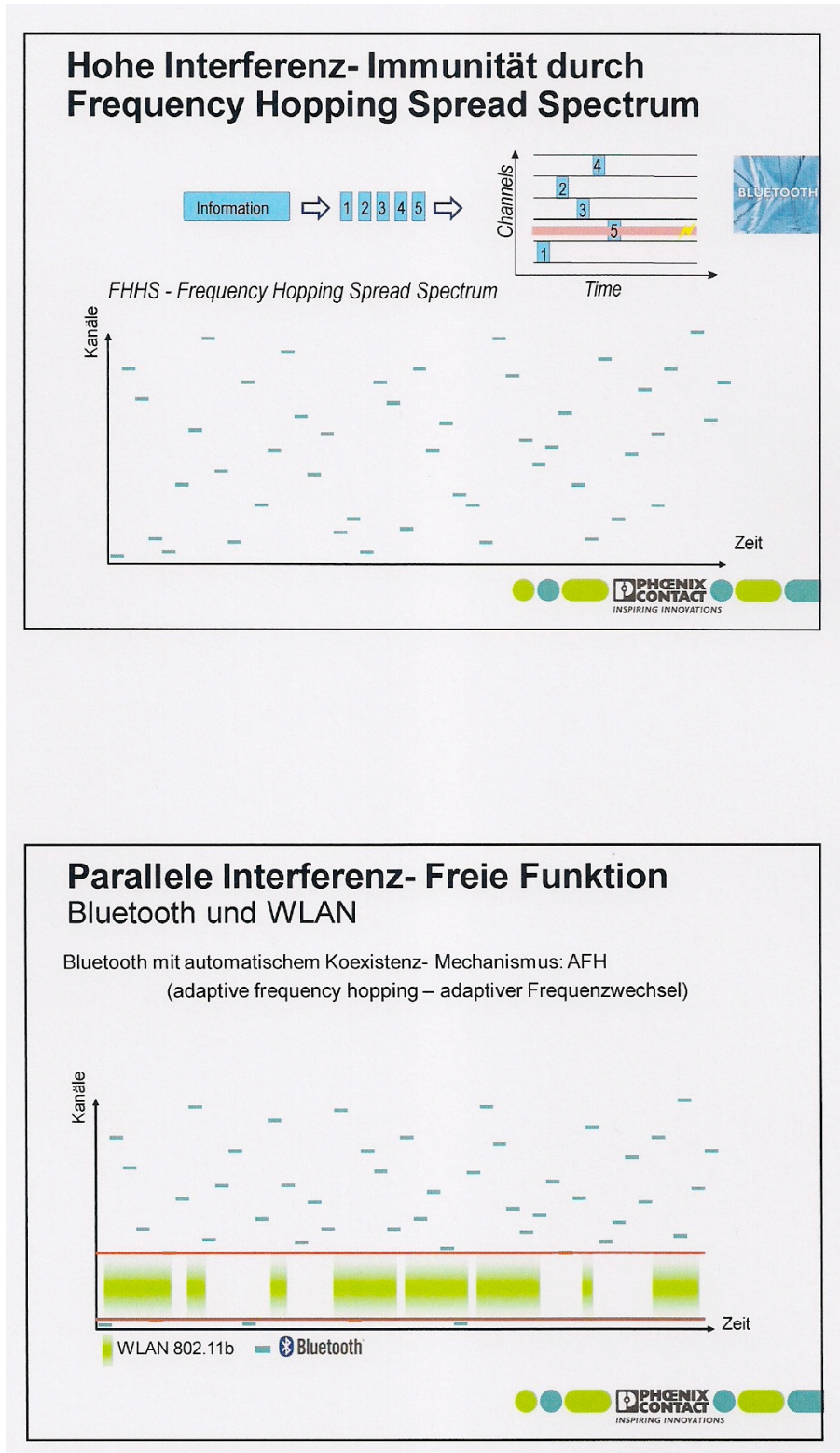


Abbildung 2-7: Frequenzsprungverfahren (Jörg Brasas, 2014)

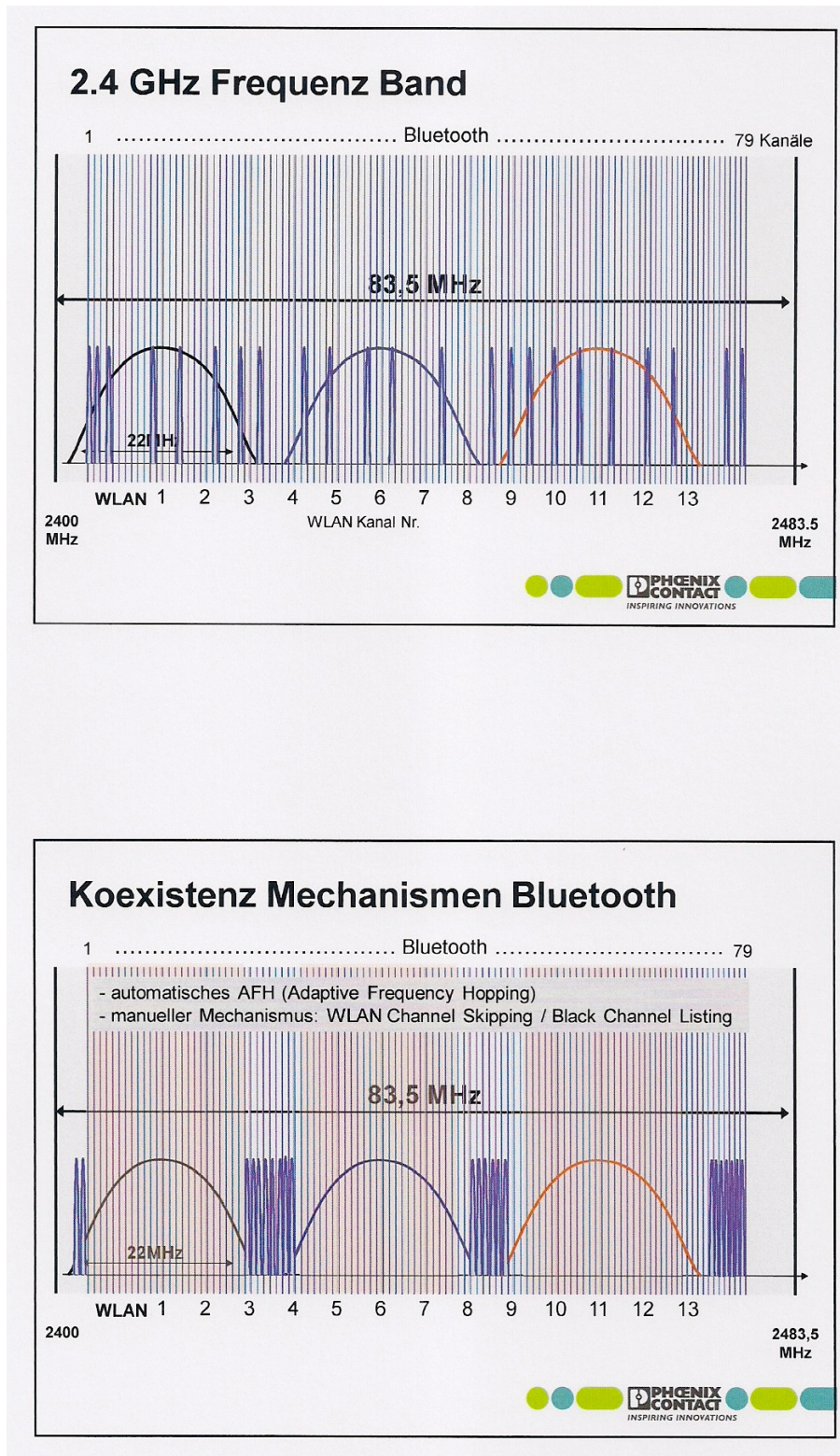


Abbildung 2-8: Frequenzbelegung Bluetooth (Jörg Brasas, 2014)

2.5 Alternative Energieversorgung

Bekannte und auch angewandte Prinzipien der Energieübertragung ohne Kabel, bzw. mechanische Kontakte beruhen auf folgenden vier Methoden:

- induktive Übertragung

Erzeugung eines magnetischen Wechselfeldes in der Sendespule, welches berührungslos eine Spannung in die Empfangsspule induziert (Trafoprinzip).

Wirkungsgrad beträgt i.d.R. 60 – 70 %, wenn folgende Faustregeln eingehalten werden.

1. Abstand zwischen Sender und Empfänger maximal doppelt so groß wie der Durchmesser der größten Spule.
2. Größenunterschied beider Spulen bis Faktor 4.

- kapazitive Übertragung

Gegenüberstellung von zwei Transmitter- und zwei Empfängerelektroden zwischen denen z.B. Luft als Isolationsschicht dient. Jedes Transmitter-Empfänger-Paar bildet einen eigenen Flächenkondensator. Beide Kondensatoren werden hierbei ebenso an hochfrequente Wechselspannung gelegt. Es sind Wirkungsgrade von über 90 % auf kurzen Strecken erzielbar.

- elektromagnetische Übertragung

Der Energieaustausch erfolgt über größere Distanzen auf dem Prinzip der Radioübertragung. Als Sender und Empfänger werden Antennen (z.B. Dipole) mit Richtcharakteristik verwendet.

- optische Übertragung

Als Sender dient ein gerichteter Infrarotlaser. Dieser überträgt die Energie optisch auf ein Fotoelement, welches anschließend in der Lage ist die Energie in Elektrizität umzuwandeln. Haupteinsatzbereich ist die Übertragung kleiner Leistungen auf sich bewegende und rotierende Teile. Typische Wirkungsgrade dieser Methode liegen bei unter 25 %.

Weitere theoretische Möglichkeiten stellen die Übertragung per Schall, Pneumatik und Hydraulik dar. Diese sind hier allerdings nur der Vollständigkeit halber erwähnt, da diese Techniken bislang mangels Energieausbeute und schwieriger Systemintegration in der Industrie keine Bedeutung erlangt haben.

Ein wichtiger Aspekt bei den vier anfangs genannten „Basistechnologien“ der drahtlosen Energieübertragung ist die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Die induktive, kapazitive und elektromagnetische Übertragung erfolgt jeweils in Frequenzbereichen, welche mehr oder weniger in der Nähe des ISM-Bandes liegen. Vor allem bezogen auf das eigentliche Ziel, die Funkübertragung von Signalen mittels Bluetooth, muss eine zusätzlich störende Beeinflussung durch die Energieübertragung minimal gehalten werden. Für die Überbrückung weit entfernter Funkstrecken, bei der das Sendesignal ohnehin schon deutlich abgeschwächt wird, ist eine drahtlose Energieübertragung daher nicht geeignet.

Tabelle 2-1: Frequenzbereiche der drahtlosen Energieübertragungsprinzipien

Energieübertragungsprinzip		Frequenzbereich
induktiv		10 kHz bis einige MHz
kapazitiv		100 kHz bis einige MHz
elektromagnetisch		oberer MHz bis GHz-Bereich
optisch	fernes Infrarot	ab 300 GHz
	nahes Infrarot	bis 428 THz

Zwischenfazit: Es wird ersichtlich, dass gerade die elektromagnetische Übertragung von Energie (bis in den GHz-Bereich reichend) die Bluetoothkommunikation stören wird. Bei induktiver- und kapazitiver Energieübertragung besteht ein gewisses Risiko des negativen Einflusses. Die optische Übertragung verursacht keinerlei EMV-Probleme.

3 Anwendung und Anforderungen der Automatisierungsbranche an Funktechnik

3.1 Praktische Anwendungsbeispiele für Funktechnik in der Industrieautomation

Industrieumgebungen können je nach ihren Anforderungen und Prozessen sehr unterschiedliche Formen annehmen und somit auch verschiedene Herausforderungen für eine drahtlose Kommunikation bilden. Grundsätzlich sollte man die Differenzierung zwischen Prozessautomation und Fertigungsautomation anstreben, um dieses Thema sinnvoll abzugrenzen.

Was versteht man unter Prozessautomatisierung und warum dort Bluetooth einsetzen?

Klassische Prozesse aus diesem Bereich findet man sehr häufig in der Chemie- und Lebensmittelindustrie. Hier kommt es darauf an mit einem bestimmten Rezept / Verfahren aus mehreren aufeinanderfolgenden bzw. vereinzelt auch parallel ablaufenden Teilschritten ein definiertes Ergebnis / Endprodukt zu erzielen. Beispiele, in denen es zum Großteil auf eine Prozessautomatisierung ankommt, sind Großbäckereien, Brauereien, Pharmakonzerne (Hexal, Bayer) und Chemiekonzerne (DOW Chemical). In den Prozessen ist meist eine Messung von Druck, Stoffkonzentration, Füllstand, Durchfluss oder Temperatur unabdingbar. Einige dieser Informationen müssen möglichst in Echtzeit weiterverarbeitet / geregelt oder angezeigt werden. Hier ist ein enorm hohes Datenaufkommen zu erwarten, welches Bluetooth an seine Leistungsgrenzen bringen kann. Hohe Datenraten, aber auch eine tadellose Verfügbarkeit sind also erforderlich. Ein Ausfall der Verbindung ist meistens nicht tolerierbar, denn schnell führen dynamische und sensible Prozesse bei Signalausfall der Kommunikation zur Unbrauchbarkeit der Erzeugnisse des Teil- oder Gesamtprozesses. Wenn z.B. eine Füllstandsregelung zeitweise zum Erliegen kommt und ein Überschwingen des Istwertes somit nicht durch Gegenmaßnahmen wie die Zuflussdrosselung bzw. Öffnen des Überlaufventils heruntergeregelt werden kann, ist eventuell eine gesamte Charge verdorben. Dies ist oft mit finanziellen und logistischen Defiziten für die Firma gekoppelt und würde einen weiteren Einsatz dieser Technik verhindern. Doch das ist noch nicht alles. Gerade in den zuvor genannten Industriezweigen kommt es vermehrt auch darauf an Ex-taugliche Geräte und Baugruppen zu verwenden, da

dies nicht selten die vorgeschriebene Rahmenbedingung für eine ordnungsgemäße, sichere Verwendung der Sensoren, Aktoren und dazugehöriger Kommunikationsbaugruppen in explosionsgefährdeten Bereichen darstellt. Konkrete Hygieneanforderungen sind je nach Branche ebenso anzutreffen. Gemeint sind hier vor allem die CIP- und SIP-Anforderungen (Cleaning bzw. Sterilization in Place). Schwieriger Stand, oder eben dadurch sogar eine echte Chance für Bluetooth? Man sollte auch hier abwägen, wann ein Einsatz von Funktechnologie Vorteile verschafft und dennoch zusätzliche Risiken wie etwaige Verbindungsabbrüche minimal hält. Einen großen Vorteil bietet Bluetooth definitiv beim Einsatz von sich bewegenden oder mobilen Anlagenteilen, wie sie in der Prozessautomation des öfteren Verwendung finden. Förderbänder, Walzen, Mischautomaten, Rührer, große Behälter, schwer erreichbare Einbaulagen, auf unterschiedlichen Ebenen vernetzte und direkt voneinander abhängige Anlagenteile sind wie gemacht für eine drahtlose Nahfunkstrecke. Die einfache Erweiterbarkeit der Bluetoothnetze spielt der etwaigen Neukonfiguration modular aufgebauter Anlagen, wie sie in der Verfahrenstechnik üblich ist, gut in die Karten. Hält man sich den Aufwand für eine Umverdrahtung und die dadurch bedingten langen Stillstandszeiten, die Kosten für sämtliche Hardwareschnittstellen (Stecksysteme) der Baugruppenkommunikation und die generell aufwendig zu planende, modulare Bauweise vor Augen, kann der Einsatz von Bluetooth als attraktiv und lukrativ angesehen werden.

Die Fertigungsautomation bildet einen weiteren möglichen Einsatzbereich. Diese beschreibt im Wesentlichen den zweiten Kernbereich der Industrie, nämlich die Stückgüterfertigung. Wie man sich vielleicht vorstellen kann, gehören zu dem Sektor zahlreiche, verschiedene Betriebe. Alle großen Unternehmen der Elektronik- und Unterhaltungsbranche sowie deren Zulieferer sind der Fertigungstechnik zuzuschreiben. Natürlich gilt dies auch für Betriebe im Bereich von Automobilzulieferer über Spielwaren- und Möbelhersteller bis hin zu mittelständischen Unternehmen mit Kleinserienfertigungen. In diesem Bereich erschließen sich breit gefächerte Nutzungsmöglichkeiten. Sei es die Weitergabe von Prozessdaten des Montagefortschritts, die Anzahl der gefertigten Stückgüter, Materialerkennung oder sonstige Informationen die der Anwender oder die Anlagensteuerung drahtlos übermittelt bekommen muss. Angenommen die Steuerung für einen Rundtisch soll neu geplant werden. Was wäre hier komfortabler und praktischer als ein zentrales Bluetoothmodul in der Mitte des Tisches, an welches man die

unterschiedlichste Sensorik und Aktorik, digital oder analog, koppeln kann. Die Vorteile liegen auf der Hand. Kurze Wege sind ideal geeignet für Bluetooth, schnelle Taktzyklen mittlerweile kein Problem mehr. Die Koexistenz mehrerer paralleler Funkverbindungen harmoniert dank Bandspreiztechnik und Frequenzsprungverfahren. Problemlos lassen sich auch mehrere Tische miteinander verbinden. Für eine zeitliche Synchronisierung mehrerer Tische müsste man im schlimmsten Fall, wenn nicht von vornherein bedacht und mit erheblichem Mehraufwand verbunden, neue Kabel verlegen bzw. komplett neue Baugruppen kaufen. Bluetooth erschlägt diesen Aufwand durch ein simples Point-to-Multipoint Push-Protokoll. Hier gäbe es nur den ohnehin notwendigen Eingriff in die Steuerungssoftware. Ein mobiler Datenzugriff für den Anlagenbediener, sei es für eine Fehlerauslese oder Parameteränderung, ist ohne den Einsatz eines PCs und ohne lästigem Kabelgewirr möglich. Hinzu kommt, dass oft mit einem, evtl. vom Betrieb ohnehin schon vorgesehenen, Smartphone eine recht praktische, universelle und Bluetooth-fähige Hardware bereits existiert und direkt darüber Änderungen vorgenommen und Werte kontrolliert werden können. Vorausgesetzt wird in diesem Zusammenhang natürlich, dass die passende Software angeboten wird. Ist beim Smartphone der Akku leer oder schlichtweg noch keines für die Anwendung vorgesehen, bietet Bluetooth weiterhin die Möglichkeit des Zugriffs vom Laptop aus. Aber auch der Laptop als klassisches Programmiergerät erweitert seine Funktionen in Sachen Komfort weiter, da nahezu alle moderneren Geräte Bluetooth bereits serienmäßig integriert haben. So muss sich der Programmierer beispielsweise nicht mehr an schwer erreichbaren Stellen auf den Bus schalten, sondern kann sich im Umkreis von bis zu 100 m einen besser geeigneten Platz aussuchen und bleibt dabei (sogar mobil) immer mit der Steuerung verbunden. Er kann sich einfach freier im Raum bewegen, was auch Vorteile bei der Inbetriebnahme mit sich bringen kann. Auch ein vergessener Adapter (MPI etc.) wird schnell lästig. Eine flächendeckende Bluetooth-Integration könnte dieses Problem direkt umgehen. Als praktische Nachrüstlösung könnten z.B. die Produkte der Fa. „BlueSerial“ Verwendung finden. „Die BlueSerial™ Funkadapter und Module sind für den Einsatz in Industrie, Medizin, Automotive, Haustechnik, Messtechnik, Embedded Systems usw. ideal geeignet. Hier sind drahtlose Lösungen realisierbar, welche mit sehr geringer Abstrahlung arbeiten und trotzdem über sehr hohe Reichweiten (100 m und mehr) eine zuverlässige, störteste und abhörsichere Datenübertragung bieten. Die drahtlose Anbindung an Bluetooth®

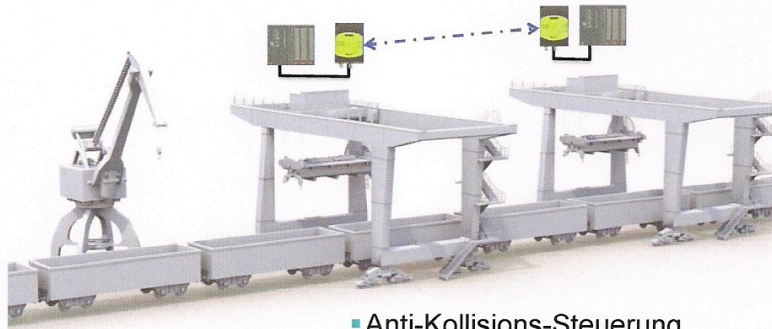
unterstützte PCs, Notebooks, Tablets und Smartphones sowie weitere Geräte mit integrierter oder externer Bluetoothfunktion ist in wenigen Minuten erledigt. Die serielle Schnittstelle ist [...] im industriellen Bereich im Service, zur Steuerung, Messwerterfassung oder Überwachung nach wie vor im Einsatz. Oft stören jedoch die Kabel zwischen den Geräten oder behindern die Bewegungsfreiheit der Anwender. Hier sind die BlueSerial™ Funkadapter und Module ideal als Kabelersatz. Die aktiven Funksysteme verfügen über einen eigenen Prozessor und arbeiten daher auch unabhängig von jedem Betriebssystem oder Treiber. Deswegen können sie wie ein virtuelles, serielles Kabel zwischen PCs, Maschinen, Messwertgebern, Sensoren, Robotern, Steuerungen, Druckern, Tachymetern und allen anderen Geräten mit serieller Schnittstelle verwendet werden“ (blueserial). Nicht zu vernachlässigen sind auch die je nach Anlagenkonstruktion entfallenden Stillstandszeiten, da der Zugriff auf die Anlage möglich wird ohne den Programmierer direkt zu gefährden (Bsp. Roboterzelle). Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die eben genannten Vorteile auch allen anderen zuvor erwähnten Funksystemen, mehr oder weniger ausgeprägt, zugeordnet werden können.



Abbildung 3-1: Anwendung Wirelesstechnologie (Jörg Brasas, 2014)

Die Verwendung von Bluetooth schafft je nach Anwendungsbereich auch komplett neue Möglichkeiten und Wege. Das Beispiel der Antikollisionssteuerung von vollautomatischen Lagerfahrzeugen und Kranen zeigt, dass bereits seit Jahren einiges an Vertrauen in Bluetooth gesetzt wird. Wohl kaum einer könnte sich solche Features wie einen Tandembetrieb zweier Krane über eine Distanz von mehreren hundert Metern ohne den Einsatz von Funktechnik vorstellen.

Automatisierte Krane



- Anti-Kollisions-Steuerung
- Automatisierter Tandembetrieb
- Automatisierter Kranbetrieb



Anti Kollisions



Abbildung 3-2: Beispiel Kransteuerung (Jörg Brasas, 2014)

Generell ist das Beispiel Kran ein guter Ansatzpunkt für die Veranschaulichung des sinnvollen Einsatzes von Bluetooth. Die meisten Lastkrane in Fabrikhallen besitzen prinzipiell schon eine Funkfernsteuerung, da sich ein herabhängendes, langes Kabel als unpraktisch erweisen würde. Mit der Auswahl der richtigen Bluetooth-Module und dazugehöriger Antennentechnik ist es ein Leichtes verschiedene Aufgabenstellungen über

eine Schnittstelle zu realisieren und Bereiche zu kombinieren. Zum einen die generelle Steuerung des Krans, zum anderen die zusätzlichen Funktionen und deren Kommunikation untereinander (Tandembetrieb, Anti-Kollisions-Steuerung, Fernüberwachung, Fehlerdiagnose etc.).

Bereiche in denen eine Überschneidung von Prozess- und Fertigungsautomation auftritt, sind die Logistik, Qualitätskontrolle und Lagerung. Hier finden sich mindestens ebenso viele Anwendungsszenarien für eine sinnvolle Nutzung von Funktelemetrie.

Weitere Gebiete, die einen solchen Einsatz durchaus denkbar erscheinen lassen, sind die Infrastruktur (Verkehr etc.), Gebäudeautomation, und der Medizin- bzw. Fitnesssektor.

Vorteile, mit denen Bluetooth im direkten Vergleich zur konventionellen Verdrahtung punkten kann sind nachfolgend aufgelistet.

- kein Kabelbruch durch bewegte Leitungen
- verpolungssichere Verbindungen
- kein Risiko von Korrosion der Kontaktstellen
- keine Stolpergefahr (Arbeitssicherheit) und kein versehentliches Entkoppeln von Steckverbindungen
- Einsparung von Kabelgewicht
- mehr Freiheit bei Standortwahl von Anlagen
- kein Verschleiß des Übertragungsmediums (Schleifkontakte o.ä.)
→ kein Wartungsaufwand
- mobiles Parametrieren, Fehlerauslese, etc.
- mobiles Eingabe- / Ausgabe - Panel für Steuerungsaufträge
- mobiles Beobachten von Prozessdaten auf Tablet o.ä.

3.2 Anforderungen der Automatisierungsbranche an eine Funkkommunikation

Zur Ermittlung der Anforderungen wurde seitens VDE ein Fragebogen erarbeitet, welcher einerseits Kriterien von klassisch drahtgebundenen Kommunikationssystemen ableitet und

andererseits speziell auf die Anforderungen eingeht, die zum Einsatz der Funktechnik motivieren. Nachfolgend werden ausgewählte Kriterien tabellarisch eingeteilt.

Tabelle 3-1: Automatisierungstechnische Kriterien

(Verein Deutscher Ingenieure, 2007)

klassische Kriterien	funkspezifische Kriterien
Datenrate	Mobilität
Antwortzeit	Reichweite
Zykluszeit	Zuverlässigkeit
zu übertragende Datenmenge	Schutz vor unberechtigtem Zugriff

Anwendungsbereiche, in denen der Einsatz von Funktechnik aus Sicht des VDE prinzipiell möglich ist, sind folgende:

- Prozessautomatisierung
- Fertigungsautomatisierung
- Gebäudeautomatisierung
- Logistik / Transport
- Infrastrukturanlagen

„Die Auswahl dieser Bereiche liegt darin begründet, dass gerade in diesen Bereichen zukünftig ein wachsender Bedarf für den Einsatz der Funktechnik gesehen wird. Viele Firmen der aufgezählten Branchen setzen sich mit den existierenden Funktechniken auseinander und erarbeiten Konzepte für deren möglichen Einsatz“ (VDI, 2007).

Die hier erwähnten Anwendungsbereiche decken sich in vollem Umfang mit den zuvor erarbeiteten Betrachtungen. Zur weiteren Abgrenzung werden die Anforderungen nochmals in Basis- und anwendungsbezogene Anforderungen unterteilt. Dies dient einer detaillierteren Betrachtungs- und Bewertungsmöglichkeit, um später einen Leitfaden zu erstellen. Ein Abwägen der anwendungsspezifisch optimal einsetzbaren Funktechnik soll dem Nutzer somit erleichtert werden. Die Basisanforderungen werden anhand des klassischen, hierarchischen Modells der Automatisierungstechnik abgegrenzt.



Abbildung 3-3: Automatisierungspyramide (Heiko Adamczyk)

Typische Basisanforderungen - auf die einzelnen Ebenen aufgeschlüsselt - werden in der Tabelle 3-2 gegenübergestellt.

Tabelle 3-2: Anforderungen nach Ebenen

(VDI, 2007)

Kriterium	Fabrikebene	Zellebene	Feldebene
Verfügbarkeit	niedrig bis mittel	hoch	hoch bis sehr hoch
Redundanz	nein	anwendungsabhängig	anwendungsabhängig
typischer Nachrichten-/Datenverkehr	azyklisch	zyklisch und azyklisch	überwiegend zyklisch
Sicherheitsanforderung	mittel bis hoch	hoch	hoch bis sehr hoch
Echtzeit Datenverkehr	nein	ja	ja
typische Nachrichten-/Datenlänge	hoch	mittel	klein
Bandbreite	hoch	mittel	klein, temporär hoch
Anzahl an Stationen	hoch bis sehr hoch	mittel	mittel bis hoch
Typ von Stationen	stationäre und mobile Peripherie	stationäre und mobile Peripherie	stationäre und mobile Geräte
Entfernung	hoch	mittel	mittel bis hoch
EMV-Anforderungen	niedrig	hoch	sehr hoch

- **nahtlose Integrationsmöglichkeit**

Implementierung geeigneter Schnittstellen und Vernetzungsmöglichkeiten mit bereits vorhandener Hardware. Industrial Ethernet wird laut VDE bevorzugt, da es ein „stark wachsendes Kommunikationskonzept[...]“ ist, welches „[...]als Begriff für verschiedene technische Lösungen, deren gemeinsamer Ansatz die Nutzung der LAN-Technologie Ethernet und darüber hinaus von Internet-Technologien wie TCP/IP als Vernetzungskonzept bis hin zur Feldebene“ (VDI, 2007) steht. „Damit sollen einerseits die Kosten durch die Nutzung von Standards aus dem Massenmarkt gesenkt und andererseits die Einbindung der Produktionsebene in übergeordnete betriebliche Organisationen durch die Nutzung gleicher Kommunikationsprotokolle stark verbessert und transparent gestaltet werden. Typische Vertreter sind beispielsweise PROFINET oder Ethernet/IP, die IT-Standards auch für raue Industrieumgebungen tauglich machen.“ (VDI, 2007)

- **Netzwerktopologie**

Je komplexer die Netztopologie aufgebaut ist, desto schwieriger wird es die Gesamtverfügbarkeit des Systems aufrecht zu erhalten. Notwendig ist solch eine Topologie dennoch in den meisten Fällen. „Moderne Anlagen der Automatisierungstechnik erfordern auch beim Einsatz einer Funktechnik die Realisierung eines Kommunikationsnetzwerkes. Der Aufbau lediglich von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, um z.B. Teilstrecken zu ersetzen, ist nicht ausreichend. Hierbei sollen nicht nur mobile Stationen in ein Netzwerk eingebunden werden, sondern auch stationäre Geräte.“ (VDI, 2007)

- **Mobilitätssupport**

Die Integration mobiler Anlagenteile in Kommunikationsnetze ist neben der Funktion als Kabelersatz eine grundlegende Motivation für den Einsatz von Funktechnik. Unter Mobilitätssupport versteht man im Wesentlichen zwei Faktoren. Zum einen die Geschwindigkeit und zum anderen den Radius des bewegten Anlagenteils. Diese Angaben sind anwendungsbezogen oft sehr unterschiedlich. Das gewissenhafte Abschätzen der Parameter für die Planung des Mobilitätssupports genügt jedoch oftmals.

Beispiel aus VDE Vorschrift: Transportsystem mit $v \approx 20 \text{ km/h}$; $r \approx 1 \dots 100 \text{ m}$.

- **Handoff-Mechanismus**

Darunter versteht man den Aufbau zellularer Systeme, bei denen sich ein Gerät oder Anlagenteil auch zellübergreifend mit gewissen Freiheitsgraden bewegen kann, ohne dass die Funkverbindung abreißt.

- **Safety, Security, Ex-Schutz mit speziellem Bezug zur Funkübertragung**

Der Sicherheitsaspekt steht bei Funkübertragungen im Gegensatz zur drahtgebundenen Kommunikation noch weiter im Vordergrund. Die Betrachtung der *funktionalen Sicherheit (Safety)* findet in einem extra dafür vorgesehenen Kapitel (5.3) Verwendung. Da Safety-Anforderungen für die Sicherheit von Mensch und Maschine eine zentrale Bedeutung haben, muss auf diese Betrachtung intensiver eingegangen werden.

Die *informationstechnische Sicherheit (Security)* ist entsprechend dem späteren Verwendungszweck auszulegen. Security-Ziele können mit Zuhilfenahme international anerkannter Common Criterias (CC) definiert werden. „Bei Verwendung von

Funktechnologien ist ein systemweiter Ansatz zu wählen [...]. Security-Aspekte, die allein durch die Funkkommunikation im geforderten Maße eingehalten werden müssen, sind Vertraulichkeit (Confidentiality), Integrität (Integrity), Authentizität (Authentication) und Verfügbarkeit (Availability). Im Rahmen der Integration in das Gesamtsystem spielen ferner die Security-Aspekte Zugriffskontrolle (Authorisation), Nichtbestreitbarkeit (Non-repudiability) und Aufzeichenbarkeit (Auditability) eine Rolle“ (VDI, 2007). Die Einbeziehung und Wichtung der einzelnen Aspekte hängt immer vom Verwendungszweck ab. Am Ende der Security-Betrachtung sind konkrete Maßnahmen (Richtlinien, technische Sicherheitsmechanismen in jeweiligem OSI Layer) zu definieren, um die zuvor aufgestellten Ziele abzusichern. Beim Ex-Schutz für Funkkommunikation sind laut VDE-Vorschrift zwei konkrete Anwendungsfälle zu unterscheiden.

„-Sender oder Sendeantenne stehen außerhalb der explosionsfähigen Atmosphäre und nur die Funkwellen kommen in den Bereich der explosionsfähigen Atmosphäre. Dann müssen die Grenzwerte der DIN VDE 0848-5 oder die des Technischen Reports CLC/TR 50247:2004 auch unter Berücksichtigung der gegebenenfalls anzuwendenden Betrachtungsweisen der entsprechenden Normen für den Explosionsschutz beachtet und eingehalten werden.

-Sender oder die Sendeantenne kommen selbst in die explosionsfähige Atmosphäre. Je nach Wahrscheinlichkeit des Auftretens der explosionsfähigen Atmosphäre müssen gewisse unterschiedliche Anforderungen an den Betrieb und an die Gerätekonstruktion erfüllt werden. Auch hier sind die Grenzwerte für kontinuierliche und gepulste Signale aus der DIN VDE 0848-5 hinsichtlich der Leistungen unter den Randbedingungen der entsprechenden Explosionsschutznormen einzuhalten. In der Zukunft werden diese Grenzwerte auch in die Explosionsschutznormen der Serie EN/IEC 60079 aufgenommen werden. Sie sollen in einer Neufassung der IEC 60079-0 zu finden sein“ (VDI, 2007).

Die höchste Explosionsschutzklasse (IIC) definiert für einen Frequenzbereich bis zu 60 GHz folgende Grenzwerte:

Tabelle 3-3: Grenzwerte Ex-Schutz bei Funk

(VDI, 2007)

Energieart	Deutschland	außerhalb Deutschlands
Strahlungsenergie	1,6 W	2 W
höchste Impulsenergie	40 µJ	50 µJ

Bluetooth-Funkverbindungen unterschreiten diese Werte in der Regel deutlich. Beispielsweise ist die maximale Strahlungsenergie bei BT laut Definition $\leq 100\text{mW}$, somit ist eigentlich keine direkte Gefahr gegeben. Sicherheitshalber sollte man dringend darauf achten, dass sich die komplette Elektronik um den BT-Chip herum ebenfalls als Ex-tauglich erweist, sofern sich die Module selbst innerhalb einer Ex-Zone befinden.

- **höchste Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit**

Die *Verfügbarkeit* des Funkübertragungskanal wird durch das Kanalzugriffsverfahren maßgeblich beeinflusst. Wird eine maximale Zeit für die Übertragung eines Datenpaketes definiert, handelt es sich um Determinismus. Nicht deterministisches Verhalten tritt dann auf, wenn „der Zeitpunkt der Zugriffsmöglichkeit nicht sicher vorhergesagt werden kann“ (VDI, 2007). In der Automatisierungstechnik ist überwiegend deterministisches Verhalten mit garantierten Antwortzeiten gefordert. Realisiert wird dieses Verhalten entweder über die Vergabe von Token oder durch den Einsatz eines geeigneten Multiplexverfahrens (Frequency-/Time-/Code Division Multiple Access).

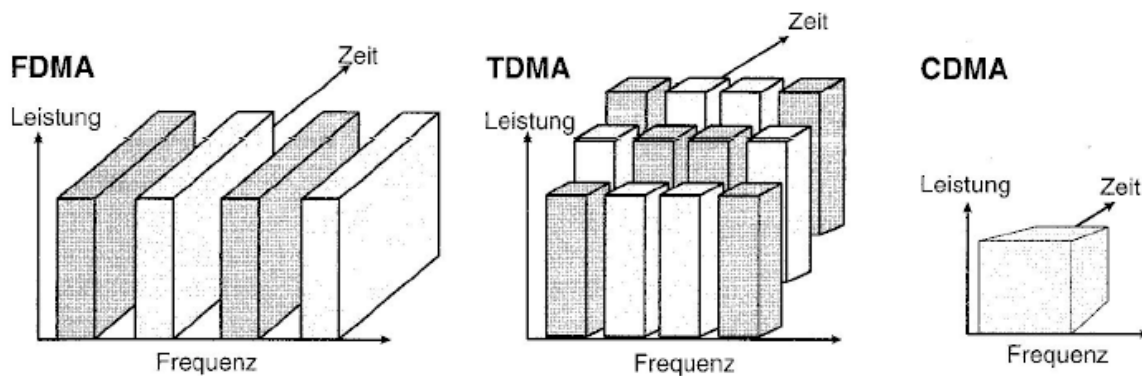


Abbildung 3-4: Multiplexverfahren (Muller, 2001)

Das Gesamtsystems und dessen Verfügbarkeit wird bekanntermaßen ebenso durch externe Störungen (andere Funkssysteme, Frequenzumrichter, Schweißgeräte etc.) negativ beeinträchtigt. „Grundsätzlich treten beim Funk dieselben Störungen durch EMV-Interferenz wie bei der kabelgebundenen Übertragung auf. Durch den geringen Störabstand sind die Auswirkungen aber gravierender.“ (VDI, 2007) Bluetooth erweist sich hier aufgrund des zuvor erläuterten adaptiven Frequenzsprungverfahrens (AFH) als äußerst resistent im Vergleich zu den meisten anderen Funklösungen (auf Basis DSSS).

Forderungen an die *Zuverlässigkeit* sind im Rahmen der Automatisierungsbranche bekanntermaßen sehr hoch. „Beim Kabel ist die Bitfehlerrate (BER) üblicherweise kleiner 10^{-6} . Diese Forderung stellt ganz spezifische Ansprüche an die Funklösung, insbesondere beim Einsatz unter industriellen Umgebungsbedingungen. Hierbei spielen weniger benachbarte Störer eine Rolle, vielmehr kommt es auf die bauliche Ausführung der Fertigungshalle an. Diese besteht gewöhnlich aus einer Stahlkonstruktion. Beim Einsatz von Funk in einer solchen Umgebung treten Reflexionen auf, so genannte Mehrwegeausbreitungen, wodurch das Funksignal selbst gestört wird“ (VDI, 2007). In Gänze kann man diese Problematik unmöglich umgehen. Bedacht werden sollte aber auch, dass teilweise erst durch die Mehrwegeausbreitung eine Funkverbindung ohne Sichtkontakt ermöglicht wird. Die baulichen Rahmenbedingungen am Einsatzort können oftmals nicht weiter beeinflusst werden. Mit Richtantennen und einer angemessenen Planung der Funkstrecke lässt sich jedoch eine solide Basis für eine ausreichende Zuverlässigkeit herstellen. Verwiesen ist an dieser Stelle auf die Planungssoftware „Wireless Network Planer“ der Firma Phoenix Contact, welche zum kostenlosen Download bereit steht und auch im Kapitel 7.3 Verwendung fand.

- **Energieversorgung**

Die Energieversorgung kann klassisch, über eine feste Verdrahtung der Module an eine bereitstehende Spannungsquelle (typisch: 24V DC), oder batteriebetrieben erfolgen. Je nach Bauart und Baugröße der Funkmodule können verschieden lange Lebensdauern erreicht werden. Es ist darauf zu achten, dass ein Nachladen der Akkus bzw. ein Batteriewechsel in den Wartungszyklus der Anlage integriert wird, um unnötige Ausfälle zu vermeiden. Der alternative Aspekt der drahtlosen Energieübertragung wird ausführlich in Kapitel 2.5 berücksichtigt.

- **Anschaffungskosten und laufende Kosten**

Der Preis für Bluetooth-Module bewegt sich je nach Anforderungen und Leistungsfähigkeit in einem breiten Rahmen (üblicherweise zwischen 50 und 2000€). Zu berücksichtigen sind des Weiteren die Kosten für eventuelle Zusatzhardware, z.B. spezielle Antennentechnik, sowie Personalkosten für die Errichtung / Planung der Funkstrecke und eventuell deren „Wartung“ mittels regelmäßiger Datenbankpflege für vorhandene Funktechnik, um ein funktionierendes Koexistenzmanagement realisieren zu können. Da Bluetooth ausschließlich im international-lizenzfreien ISM-Band funkt, ist dort kein Nutzungsentgelt von der Bundesnetzagentur gefordert. Umso mehr sich der Massenmarkt mit dem Thema Funklösungen in der Automatisierung befasst und sich seitens Industrie auf wenige Standardschnittstellen geeinigt wird, desto günstiger können die passenden Module von den Herstellern in Großserie produziert werden. In manchen Bereichen ist es jedoch unumgänglich sich mit Funklösungen auseinander zu setzen, um Problemstellungen fachgerecht zu lösen (große Reichweiten im Bereich Infrastruktur, schwer erreichbare Anlagenteile über mehrere Etagen etc.). Dort spielt der Preis mangels Alternativen zum Funkkonzept eine sekundäre Rolle.

- **Einschaltverhalten des Systems**

Der Verbindungsaufbau dauerte mit ca. 4 s bei den früheren Bluetooth-Versionen noch relativ lange. Das aktuelle Bluetooth 4.0 LE reduziert störende Wartezeiten drastisch. Hier ist mit einer Synchronisationsdauer / Einschaltbereitschaft von wenigen ms zu rechnen.

4 Bewertung des Funksystems

4.1 Bewertungskriterien

Die Auswahl eines geeigneten Funksystems erfordert neben den verschiedenen Anforderungen der Automatisierungstechnik noch eindeutig bewertbare und vergleichbare Kriterien. Um eine bessere Entscheidung für oder gegen einen Einsatz der zuvor als prinzipiell möglich erachteten Funktechnik treffen zu können, hat der VDE zu diesem Thema eine Untersuchung angestellt. Konkrete Bewertungskriterien sind nachfolgend aufgeführt.

Funktionale Kriterien

- überbrückbare Entfernung
- Anzahl der Teilnehmer
- Topologie
- Art der Teilnehmer
- Dienste
- Zeitverhalten
- Nutzdaten je Teilnehmer
- Sicherheit
- Konfiguration, Inbetriebnahme und Betrieb

Umgebungsbezogene Kriterien

- Einsatzort
- Umweltbedingungen, EMV
- Ex-Schutz

Produktbezogene Kriterien

- Konstruktion
- Kosten
- Zielmarkt

Bewertung

Die Herangehensweise bei der Bewertung einer Funktechnologie sollte zuerst eine Auswahl der geforderten Kriterien aus Sicht des Anwendungsprofils abdecken. Für die strukturierte Durchführung der Bewertung wird die Form einer Matrix vorgeschlagen. Diese beinhaltet die Möglichkeit der abgestuften Wichtung eines Kriteriums, um dessen Relevanz für den Einsatz in dem jeweiligen Umfeld bzw. der Anlage praxisnah berücksichtigen zu können. Eine 3-stufige Unterteilung der Priorität in hoch - mittel - niedrig ist dabei ausreichend, um den Zeitaufwand nicht unverhältnismäßig in die Höhe zu treiben. Des Weiteren können besonders relevante Kriterien als K.O.-Kriterien definiert werden. Sobald ein oder mehrere Funksysteme in der Gegenüberstellung dieses Kriterium nicht erfüllen, fällt es automatisch aus der Betrachtung für einen Einsatz heraus. K.O.-Kriterien sollten möglichst in den ersten Zeilen der Tabelle aufgeführt werden, damit frühzeitig erkannt werden kann, dass ein System eventuell nicht geeignet ist. Weitere Überlegungen in Bezug auf die Wichtung etc. erübrigen sich dadurch. Die Methoden der Wichtung und das K.O.-Verfahren sollen dem Anwender eine individuelle Bewertung auf Basis seiner spezifischen Anwendung erleichtern.

Eine Beispielmatrix befindet sich als Kopiervorlage im Anhang dieser Arbeit.

Da eine fachlich kompetente Bewertung mehr als ein grobes Abschätzen der Kenngrößen bieten sollte, wird im Folgenden auf einige wichtige Definitionen von Bewertungskenngrößen eingegangen.

„Das zentrale Bewertungskriterium, das eine Funklösung erfüllen muss, um in einem industriellen Automatisierungssystem eingesetzt zu werden, ist, dass ein (Prozess-)Wert unter definierten Bedingungen, zu definierten Zeitpunkten, an definierten Schnittstellen fehlerfrei zur Verfügung stehen muss. [...] Ob eine Funklösung geeignet ist [...], wird anhand von Kenngrößen beurteilt. Wesentliche Kenngrößen sind die, die über das Zeit- und Fehlerverhalten der Funklösung Auskunft geben. Die exakte Definition dieser Kenngrößen ist Voraussetzung für eine einheitliche Bewertung. Damit die Werte der Kenngrößen richtig beurteilt werden können, ist es wichtig zu wissen, auf welche der möglichen Kommunikationsschnittstellen sich die Angaben beziehen. Die Spezifikation der Kommunikationsschnittstelle ist besonders von Bedeutung, da es für Funklösungen der

Automatisierungstechnik keine standardisierte Schnittstelle gibt.“ (VDI, 2007)
Anzumerken ist hierbei, dass es sowohl Hardwareschnittstellen (RS232, MPI, USB) als auch Softwareschnittstellen (Datenschnittstellen) geben kann.

Tabelle 4-1: Bewertungskenngrößen

(VDI, 2007)

primäre Bewertungskenngrößen	Definitionen und Erläuterungen zur Bedeutung in der Automatisierungstechnik
Übertragungszeit	Zeitabschnitt vom Beginn der Übergabe des ersten Nutzdatenbyte eines Pakets an die Kommunikationsschnittstelle bis zur Übergabe des letzten Nutzdatenbyte desselben Pakets.[...] Die Übertragungszeit ist für Anwendungen mit ereignisorientierter Übertragung, vorzugsweise von Produktivdaten, von Bedeutung.
Antwortzeit	Die Antwortzeit setzt sich aus mindestens einer Übertragungszeit zwischen Client und Server und einer Übertragungszeit zwischen Server und Client zusammen. Hinzu kommt die Bearbeitungszeit im Server.[...] Die Antwortzeit spielt in erster Linie bei bestätigten Diensten eine Rolle, z.B. bei der anwendungsorientierten Übertragung von Produktivdaten und Parameterdaten.
Aktualisierungszeit	Ist der Zeitabschnitt von der Übergabe des letzten Nutzdatenbytes eines Pakets an die Anwendung bis zur Übergabe des letzten Nutzdatenbytes des nachfolgenden Pakets von der gleichen Stelle ausgehend. Die Aktualisierungszeit spielt in erster Linie bei der zyklischen Übertragung von Produktivdaten eine Rolle.
Datendurchsatz	Der Datendurchsatz ist die Anzahl von Nutzdatenbytes oder Nutzdatenbits, die pro Zeiteinheit[...]an die Anwendung übergeben werden.[...] Der Datendurchsatz spielt bei der Übertragung großer Datenmengen, wie große Parameterdatensätze, Programme oder Dateien, eine Rolle.
Paketverlustrate	Die Paketverlustrate drückt aus wie viele der Pakete tatsächlich über die Kommunikationsschnittstelle an die Anwendung übergeben werden. Die Paketverlustrate spielt sowohl bei der

	Übertragung von Produktivdaten als auch von Parameterdaten eine Rolle. Auf der Grundlage dieses Wertes kann entschieden werden, ob zusätzliche Maßnahmen getroffen werden müssen, wie Verkürzung des Anwendungszyklus oder Wiederholung der Übertragung bei Verlust eines Pakets.
Restfehlerrate	Sie gibt die Häufigkeit von Übertragungsfehlern pro Stunde an. In dieser Kenngröße sind die Bitfehlerwahrscheinlichkeit und die Restfehlerwahrscheinlichkeit enthalten.[...] Die Restfehlerrate ist eine wichtige Kenngröße, um z.B. die Einsatzmöglichkeiten in funktional sicheren Anlagen bewerten zu können. Von Interesse ist der Maximalwert der Paketfehlerrate unter definierten Bedingungen.
Entfernung	Als Entfernung wird der Abstand zwischen den Antennen zweier Devices Under Test bezeichnet.[...] Anhand des Wertes für die Entfernung kann die Ausdehnung des funkgestützten Netzwerks bewertet werden. Von Interesse ist der Maximalwert der Entfernung unter definierten Bedingungen und für eine bestimmte Qualität der Datenübertragung.
sekundäre Bewertungskenngrößen	Definitionen und Erläuterungen zur Bedeutung in der Automatisierungstechnik
Aktivierungszeit nach Energiesparmodus	Zeit, die ein Kommunikationsmodul benötigt, um von einem Energiesparmodus durch ein Aktivierungsereignis in den Standard-Betriebsmodus zu gelangen.[...] Von Interesse ist der garantierte Wert zur Aktivierung eines Kommunikationsmoduls.
Energiebedarf	Zur Ermittlung des Energiebedarfs werden Strom und Spannung während eines Testfalls stromrichtig gemessen [und multipliziert] sowie die Gesamtzeit des Testfalls bestimmt.[...] Die Kenntnis des Energiebedarfs ist für die Erarbeitung von Energiebereitstellungs- und Energiespeicherkonzepten wichtig. Von Interesse ist ein mittlerer Wert des Energiebedarfs.

Anmerkung: „Zum Teil sind die Werte der sekundären Kenngrößen implizit in den Werten der primären Kenngrößen enthalten. So kann die Aktivierungszeit eines Teilnehmers Teil der Übertragungszeit sein.“ (VDI, 2007)

4.2 Vorlagen einer Bewertungsmatrix

Zum Anhang dieser Arbeit gehört eine EXCEL-Datei namens „Bewertung/Test“, welche 3 Blätter mit Tabellen für eine Bewertungsmatrix beinhaltet. Alle Tabellen haben einen (teilweise direkten) Bezug zu der VDI/VDE Vorschrift 2185 und können somit nach den zuvor genannten Bewertungskriterien bearbeitet werden. Es ist zu beachten, dass die Tabellen A1 und A3 absichtlich „überdimensioniert“ wurden und der Anwender die für sich irrelevanten Zeilen herauskürzen kann. Tabelle A2 dieser Datei ist eine Originalabschrift aus der VDI/VDE 2185 Blatt 1, Seite 57 und wird nachfolgend als Bildbeispiel behandelt.

Bewertungsmatrix Beispiel nach Vorgaben des VDE- Anhang Tabelle 2 (Original)									
Funktionales Kriterium (z.B. Entfernung)									
	Wichtung	K.O.-Kriterium	Anforderungsprofil (Anforderungen aus Tabelle 1)	Merkmale des Funksystems A (z.B. Bluetooth)			Merkmale des Funksystems B (z.B. DECT)		
				Reichweite	Sendeleistung	...	Reichweite
Funktionale Kriterien									
Überbrückbare Entfernung									
Reichweite mobiler Teilnehmer	hoch	nein	30 m bis 300 m	50 m			50 m Indoor/ 300 m Outdoor auf 3 km erweiterbar (Gewinnantenne)		
...									
Anzahl der Teilnehmer									
Anzahl der Teilnehmer									
...									
...									
Umfeldbezogene Kriterien									
...									
...									

Abbildung 4-1: Bildbeispiel Bewertungsmatrix nach VDE

Es ist ersichtlich, dass die Tabelle aus Abbildung 4-1 unvollständig ist. Die Anordnung der Kriterien wie z.B. Reichweite, Sendeleistung etc. unterscheidet sich von der optimierten Version (Anhang 4, Tabelle A3). Die konkretere Aufschlüsselung der Tabelle A3 sorgt für eine bessere Übersichtlichkeit und vereinfacht das Kürzen der irrelevanten Auswahlkriterien.

Die Tabelle A1 (Anhang 2) ist eine Eigenentwicklung, welche sich an die VDI / VDE 2185 anlehnt, jedoch um ein konkreteres Bewertungssystem ergänzt wurde. Hier stehen als Bewertungsmaßstab gewisse Feldfunktionen zur Verfügung, um z.B. einzeln vergebene

Punkte nach der jeweiligen Bewertung eines Kriteriums zu addieren oder K.O.-Kriterien farblich und mit Warnhinweisen hervorzuheben. In das neue Bewertungssystem eingebunden wurden Vorschläge für das Eingabeformat, um dem Anwender ein einheitliches Vorgehen bei der Bewertung nahe zu legen. Die Wichtung wurde in drei Stufen unterteilt (Faktor 1, 2, 3), um diese dann je nach Anforderung mit den vergebenen Punkten (0, (5), 10) zu multiplizieren. Aus Gründen der Übersichtlichkeit liegt in diesem Abschnitt nur ein Bildbeispiel vor. Die restlichen Tabellen sind zusammengefasst im Anhang zu finden. Für den Fall, dass die Tabellen und das Diagramm des Anhangs digital weiterverarbeitet oder ergänzt werden sollen, liegt die xlsx-Datei auf der zugehörigen CD dieser Arbeit bei. Eine Veröffentlichung ist ohne ausdrückliche Genehmigung des Autors nicht gestattet.

5 Zuverlässigkeit und Sicherheit

5.1 Zuverlässigkeit der Verbindung

Drahtlose Kommunikation in der Industrie zuverlässig einzusetzen heißt, elektromagnetische Störungen sicher auszuschließen. Drei bekannte Quellen solcher Störungen sind Schweißprozesse, Schaltvorgänge und Frequenzumrichter. Diese elektromagnetischen Felder erreichen aber nur vergleichsweise niedrige Frequenzen im kHz- oder unteren MHz-Bereich. Insofern ist eine Beeinflussung der Bluetoothverbindung durch zuvor genannte Störquellen unwahrscheinlich. Zusätzlich sorgen die bei Bluetooth eingesetzten Bandspreiz-Technologien für eine zuverlässige Kommunikation. Bei fachgerechter Planung, Auslegung und Installation sind Befürchtungen, dass sich die Kommunikationslösung später als unzuverlässig herausstellt, unbegründet. Die Praxis belegt dies in Form tausender, realisierter Automatisierungsanwendungen auf Funkbasis und die stetige Weiterentwicklung der Funkmodule. Würden sich gravierende Probleme im Bereich Zuverlässigkeit zeigen, wäre heutzutage sicherlich kein Markt mehr im Bereich Automatisierungstechnik, den die namenhaften Hersteller mit neuentwickelten, bzw. optimierten Funkkonzepten auf Bluetoothbasis bedienen.

Im Vergleich zu kabelgebundenen Übertragungsverfahren schneidet eine Funklösung - technisch bedingt - eher schlecht ab. „Wie zuverlässig ein Bluetooth-System ist, hängt natürlich neben dem Kanalzugriffsverfahren davon ab, wie gut die Verbindung zwischen Sender und Empfänger ist. Ein Maß zur Bewertung der Verbindung ist die Bitfehlerrate [(BER–bit error ratio) und der Signal-Rausch-Abstand (SNR–signal-to-noise ratio)] eines Übertragungskanals. Welleneffekte wie Streuung, Reflexionen, Beugungen und der Doppler-Effekt können Amplitudenschwankungen (Fading) beim Empfangssignal bis zu 30 bis 40 dB verursachen, welche wiederum für das Auftreten von Bündelfehlern verantwortlich sind und die Verbindungsqualität drastisch bis hin zum Verbindungsabbruch reduzieren können.“ (Verdal)

5.2 Verbindungsabbruchmanagement

„[...]Die Link Quality-Anzeige informiert den Anwender permanent über die Verbindungsqualität. Ist die Verbindung massiv gestört oder unterbrochen, werden die

Ausgänge in einen definierten Zustand zurückgesetzt.“ (Jörg Brasas, 2014) (SI-Level) Das Setzen eines definierten Zustandes trägt wesentlich zur Sicherheit der Anlage bei, da Fehlinterpretationen somit ausgeschlossen werden bzw. eine Doppeldeutigkeit zu keiner Gefährdung der Anlage und des Bedieners führt. Voraussetzung ist natürlich die bedächtige Auswahl des anwendungsspezifisch „richtigen“ Fehlerzustandes.

5.3 Realisierbarkeit von Safety-Anforderungen

Zu berücksichtigen sind hier vor allem die *funktionale Sicherheit (Safety)*, welche bei Erkennen eines Fehlers die Anlage ohne Bedienereingriff in einen sicheren Zustand versetzt, um Mensch und Anlage zu schützen. „Ausgangspunkt des Einsatzes digitaler Kommunikationssysteme in der Sicherheitstechnik ist eine Analyse der möglichen Fehlerfälle. Beispiele für typische Fehlerfälle sind Verlust, Verfälschung, Verzögerung, Wiederholung und Einfügen. Am Ende müssen Maßnahmen jeden einzelnen Fehlerfall absichern. Beim PROFIBUS wird das z.B. durch das Einfügen einer Zwischenschicht, dem PROFIsafe-Treiber, zwischen Kommunikation und Anwendung realisiert.“ Es ist dabei zu beachten, dass die gesamte Funktionskette (Sensor-Bus-Steuerung-Bus-Aktor) betrachtet werden muss, um die funktionale Sicherheit nach Safety Integrity Level (SIL) zu gewährleisten.

SIL	Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde in der Betriebsart mit hoher Anforderungsrate oder kontinuierlicher Anforderung
3	$> 10^{-8} \dots < 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7} \dots < 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6} \dots < 10^{-5}$

Abbildung 5-1: Safety Integrity Level (SI-Level)

Man sollte bedenken, dass der Überbegriff „Safety“ in der Regel nicht so einfach beschrieben werden kann, da die Anforderungen anwendungsspezifisch berechnet werden müssen. Aufgrund dieser Berechnungen kann dann geprüft werden, ob die Updatezeit der Bluetooth-Strecke kurz genug ist, um die Sicherheitsanforderungen zu erfüllen. Den Aussagen von Phoenix Contact zufolge können real erzielbare Werte, im industriellen Umfeld, mit ca. 32 ms angenommen werden.

5.4 Verschlüsselung und Sicherheitslücken

Angriffe auf eine Funkverbindung sind prinzipbedingt einfacher ausführbar, als bei einer konventionellen Verdrahtung. Dies begründet sich dadurch, dass es für Funktechnik keine physische Begrenzung (Wände etc.) gibt. Es ist in besonderem Maße darauf zu achten alle vorhandenen Sicherheitsprofile zu aktivieren. Ab Bluetooth Version 2.0 wurden vier Sicherheitsmodi integriert. Folgende Auswahlmöglichkeiten stehen bereit:

- „Modus 1 (Non-Secure Mode): Hier werden keine besonderen Sicherheitsmechanismen wie Verschlüsselung oder Authentifizierung verwendet. Alleine das Frequency-Hopping erschwert das Abhören.
- Modus 2 (Service-Level Enforced Security): In diesem Modus erfolgt die Absicherung auf Anwendungsebene. Der Hostprozess verwaltet die durch Bluetooth bereit gestellten Sicherheitsmechanismen. Dies ist der am häufigsten verwendete Modus bei Mobiltelefonen.
- Modus 3 (Link-Level Enforced Security): Die Sicherung erfolgt schon auf Linkmanager-Level. Nur authentifizierte Verbindungen werden an den Host weitergereicht, das gesamte Sicherheitsmanagement übernimmt Bluetooth. Die Verschlüsselung der Daten ist optional.
- Modus 4 (Service Level Enforced Security): Bei diesem neuen Modus erfolgt die Authentifizierung abhängig vom Dienst. Für jeden Dienst oberhalb von L2CAP kann entschieden werden, ob ein Link-Key verwendet wird und ob der Link-Key authentifiziert ist oder nicht. Für die Rückwärtskompatibilität antwortet ein Mode-4-Gerät auf Authentifizierungsanfragen des Security-Mode-3.“ (Sicherheitsmodi BT)

Eine weitere Möglichkeit ist der „Invisible-Mode“ bei dem das Bluetoothgerät nicht mehr auf Anfragen unbekannter Nutzer reagiert. Dies eignet sich optimal für Verbindungen, die in der Regel nur einmal eingerichtet / „gepairt“ werden müssen und wo im Zuge dessen keine weiteren Änderungen vorgesehen sind. Ein ähnliches Modell wird beispielsweise auch bei den „BT EPA“ - Modulen der Firma Phoenix Contact angewandt. Diese werden werksseitig fest miteinander gekoppelt, sodass der Nutzer keine Einrichtung vornehmen muss und es Hackern erschwert wird sich auf die Verbindung zu schalten.

Generell bleibt festzuhalten, dass bei Bluetooth durchaus einen gewisser Schutz implementiert wurde, welcher auch dem gegenwärtigen Stand der Technik entspricht. Allein die Frequenzsprünge mit variablen Kanalbelegungen sollten für Hacker

abschreckend wirken. Wo ein Wille ist, ist aber sicherlich dennoch ein Weg Schaden zuzufügen. Je nach Motivation des Angreifers birgt jegliche Funkstrecke ein gewisses Risiko. Ob es letztendlich wahrscheinlicher ist ein Kabel mit dem Seitenschneider physisch zu durchtrennen, oder sich gezielt in eine Bluetoothverbindung zu hacken, bleibt dahingestellt.

6 Aspekte des Arbeits- und Gesundheitsschutz

6.1 Maximale Sendeleistung und Leistungsanpassung

Die maximale Sendeleistung ist auf 100 mW (bzw. 20 dBm) festgelegt. Üblicherweise kann diese jedoch auch in feinen Abstufungen herabgesetzt werden, um beispielsweise die Reichweite auf das Nötigste zu begrenzen. Dies ist sinnvoll, da somit eine größere Gerätedichte erreicht werden kann und die Koexistenz mit anderen BT-Geräten und WLANs verbessert wird. Des Weiteren dient die manuelle Begrenzung der Sendeleistung auch der Zuverlässigkeit der Datenübertragung und dem Vermeiden von ungewolltem Fremdzugriff auf die Verbindung, da die Reichweite nur auf ein notwendiges Minimum begrenzt wird und sich nicht überflüssig weit ausdehnt. Bei keiner bzw. schlechter Verbindung empfiehlt sich der Einsatz von Repeatern, welche an der richtigen Position eingesetzt das ursprüngliche Signal verstärken und wieder mit voller Sendeleistung weiterreichen. Damit lassen sich auch Strecken größer als die üblichen 100 m überbrücken. Dadurch wird jedoch die Übertragungszeit der Funkstrecke erhöht, was zu einer erhöhten Zykluszeit in der Steuerung führt. Repeater können theoretisch beliebig oft eingesetzt werden, in der Praxis hingegen ist eine Verwendung von mehr als zwei Stück nicht üblich.

6.2 Strahlenbelastung / Gefährdung für den Menschen

Nachforschungen beim Bundesamt für Gesundheit (BAG) ergaben für die BT-Klassen 2 und 3 keinerlei Gefahrenpotential. Bei Mobiltelefonen, welche die Klasse 1 verwenden, wird das Gerät beim telefonieren direkt an den Kopf gehalten. Das BAG empfiehlt in dieser Situation vorsichtshalber Internetverbindungen über BT zu deaktivieren. Dieser Fall ist jedoch für den Bereich BT in der Automatisierungstechnik nicht in besonderem Maße relevant. Einzig vorstellbares Szenario wäre eine Anlagensteuerung mittels Spracherkennung durch den Nutzer, dies ist so allerdings nicht gebräuchlich.

Nachfolgend ein Auszug der offiziellen Erklärung des BAG zur Strahlenbelastung durch Bluetooth:

„Bluetooth-Sender der stärksten Leistungsklasse 1 können zu Strahlungsbelastungen ähnlich wie bei einem Handy führen, sofern sie in unmittelbarer Nähe zum Körper betrieben werden. Die Strahlungsbelastungen durch Bluetooth-Geräte aller

Leistungsklassen sind kleiner, als die entsprechenden internationalen Grenzwertempfehlungen. Gemäß aktuellem Wissensstand verursacht diese Strahlung keine unmittelbare Gefährdung der Gesundheit. Bei den Bluetooth-Anwendungen der schwachen Leistungsklassen 2 und 3 erübrigen sich Vorsorgevorkehrungen. Bei Handys, die über Bluetooth aufs Internet zugreifen können, werden teilweise Sender der stärkeren Leistungsklasse 1 verwendet. Es empfiehlt sich beim Telefonieren mit solchen Handys diese Internetverbindung auszuschalten, so dass eine zusätzliche Strahlungsbelastung des Kopfes vermieden werden kann.“ (bag, 2007)

Ein konkretes Zahlenbeispiel als Beleg für die Einhaltung der Grenzwerte:

„Nach dem Stand der heutigen Forschung ist die spezifische Absorptionsrate (SAR) Grundlage für die Beurteilung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch hochfrequente elektromagnetische Felder. Die Absorptionsrate beschreibt, welche Menge der Strahlungsleistung (gemessen in Watt (W)) vom menschlichen Körper (gemessen in kg) aufgenommen wird. Die maximal zulässige SAR beträgt 0,08 W/kg für den ganzen Körper und 2,00 W/kg für Teile des Körpers, zum Beispiel für den Kopf. Durch Bluetooth oder über WLAN verbundene Geräte bleiben als Einzelkomponenten deutlich unterhalb dieser SAR-Grenzwerte. Aktuelle Ergebnisse zeigen, dass ein USB Bluetooth Stick der Klasse 1 oder eine WLAN-Einsteckkarte für Laptops bei minimalem Abstand zum Körper nur SAR-Werte zu Teilen des Körpers von ca. 0,1 W/kg erreichen. Werden die Grenzwerte eingehalten, gibt es nach aktuellem Stand der Wissenschaft keinen Nachweis, dass hochfrequente elektromagnetische Felder gesundheitliche Risiken verursachen.“ (bag, 2007) Bluetoothmodule der Klasse 1 sind zudem mit einer automatischen Regelung der Sendeleistung ausgestattet, die bei guten Verbindungen die Sendeleistung herunterregelt. Deswegen beträgt die Sendeleistung nur selten ihr Maximum von 100 mW.

(SMA Technology, 2009)

7 Testreihen und Versuchsergebnisse

7.1 Bluetooth-Teststand

Skizze Versuchsaufbau:

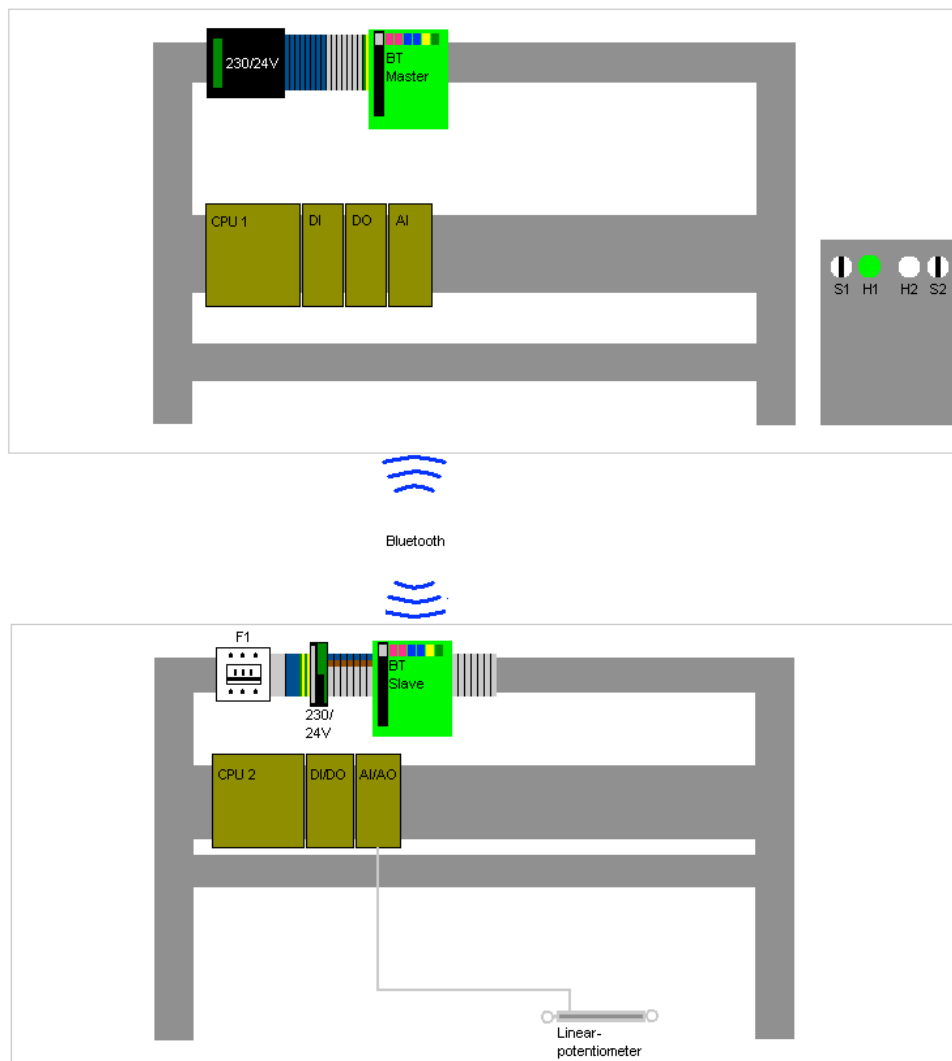


Abbildung 7-1: Bluetooth Teststand

Der Versuchsaufbau zur BT-Funkübertragung besteht aus 2 Anlagenteilen (Master und Slave), zwischen denen über Bluetooth kommuniziert wird.

Verwendet wurden hierfür zwei BT E/A-Klemmen der Fa. Phoenix Contact (ILB BT ADIO MUX, kurz: „IBAM“).

Die Verarbeitung der Signale erfolgt über je eine Simatic S7-300 CPU der Fa. Siemens.

Jede CPU verfügt über mehrere Anschaltbaugruppen, welche die Schnittstelle zwischen Bedien- und Beobachtungskomponenten und der dazugehörigen CPU darstellen.

Liste verwendeter Baugruppen, Geräte und Materialien:

2x Gestell aus Aluminiumprofilen mit Hutschienen

2 x 24 V Spannungsversorgung

2 x ILB BT ADIO MUX (Master & Slave)

2 x Simatic S7 315 CPU

mit folgenden Anschaltbaugruppen:

AI SM 334 (Slave)

DI/DO SM 323 (Slave)

AI SM 331 (Master)

VIPA 321 & 322 (Master)

diverse Reihen клемmen

1x Leitungsschutzschalter C10

2x Drehschalter

1x Leuchttaster (weiß)

1x Leuchtmelder (grün)

1x Linearpotentiometer (Novo Technik TX2)

1x Laptop mit Simatic Manager Step 7 V5.5

1x USB/MPI Adapter

Für die beiden CPUs wurde je ein Programm erstellt, welches sich bereits im Speicher der CPUs befindet. Diese sind somit i.d.R. einsatzbereit. Das Programm wurde als Sicherheitskopie auf der CD im Anhang dieser Arbeit hinterlegt.

Inbetriebnahme:

Die betriebsbereiten Gestelle werden an den gewünschten Einsatzort transportiert und vor Ort auf äußerliche Beschädigungen kontrolliert.

Die beiden Schutzkontaktstecker werden in je eine 230 V Steckdose eingesteckt.

Auf der Slave-Seite muss der Leitungsschutzschalter eingeschaltet sein bzw. werden.

Die Bluetooth-Module schalten sich in Folge dessen selbstständig ein. Die Funkstrecke arbeitet korrekt, wenn die Leuchten UA und UL dauerhaft grün leuchten und bei der Link Quality-Anzeige mindestens eine Leuchte aktiv ist.

Beide CPUs mittels Schlüsselschalter auf RUN stellen. Die Einheiten sind betriebsbereit, wenn die Kontrollleuchten für RUN und DC5V dauerhaft leuchten und kein Sammelfehler (SF) ansteht.

Die Anlage ist jetzt korrekt eingerichtet.

Funktionen:

Die Anlagenkombination bietet folgende Funktionen:

- Übertragung eines „Lauflichtes“ ,
welches masterseitig durch den rechten Drehschalter in der linken Schaltstellung eingeschalten wird (Automatikmodus aktiv).
- Lauflicht-Test,
welcher durch das Betätigen des Leuchttasters einmalig durchlaufen wird.
Beide Lauflicht-Modi sind sowohl an der Statusanzeige der CPU (Master-Seite) als auch direkt an den beiden „IBAMs“ erkennbar.
- Übertragungsstörungen werden durch den Ausfall der weißen Meldeleuchte im Leuchttaster signalisiert, sofern das Lauflicht aktiv sein sollte. Basierend auf einer Schleife über die Funkstrecke (hin und zurück), die CPU und jeweiliger Karten wird das erste Bit des Lauflichts zyklusüberwacht.
- „Tresorknacker“ ist ein Unterprogramm, welches im Erfolgsfall die korrekte Übertragung von Analogwerten über die Funkstrecke aufzeigen soll. Dazu muss zuerst auf der Master-Seite mit dem linken Drehschalter (S1) in der linken Schaltstellung eine Freigabe erzeugt werden. Anschließend wird auf der Slave-Seite über das Linearpotentiometer eine definierte Folge von Widerstandswerten analog in die CPU eingelesen und zum Master übertragen. Prinzipiell ist dies ein einfacher Code aus Stellwegen des Potentiometers mit dazugehörigen Mindesthaltezeiten. Stellungenstufen werden am Digitalausgang der SPS angezeigt. (Bsp.: A0.0 entspricht Stufe 0 bis A0.7 = Stufe 7). An der gekoppelten CPU wird das erzeugte Spannungssignal, wenn ordnungsgemäß übertragen, ausgewertet. Wurde der Code korrekt eingegeben, blinkt

die grüne Meldeleuchte. Freigabe entziehen bzw. Eingaberoutine zurücksetzen wird durch das Ausschalten des linken Schalters realisiert.

7.2 Verbindungsqualitätstest bei verschiedenen langen Übertragungsstrecken

7.2.1 Reale Messung mit Phoenix BT I/O Tester

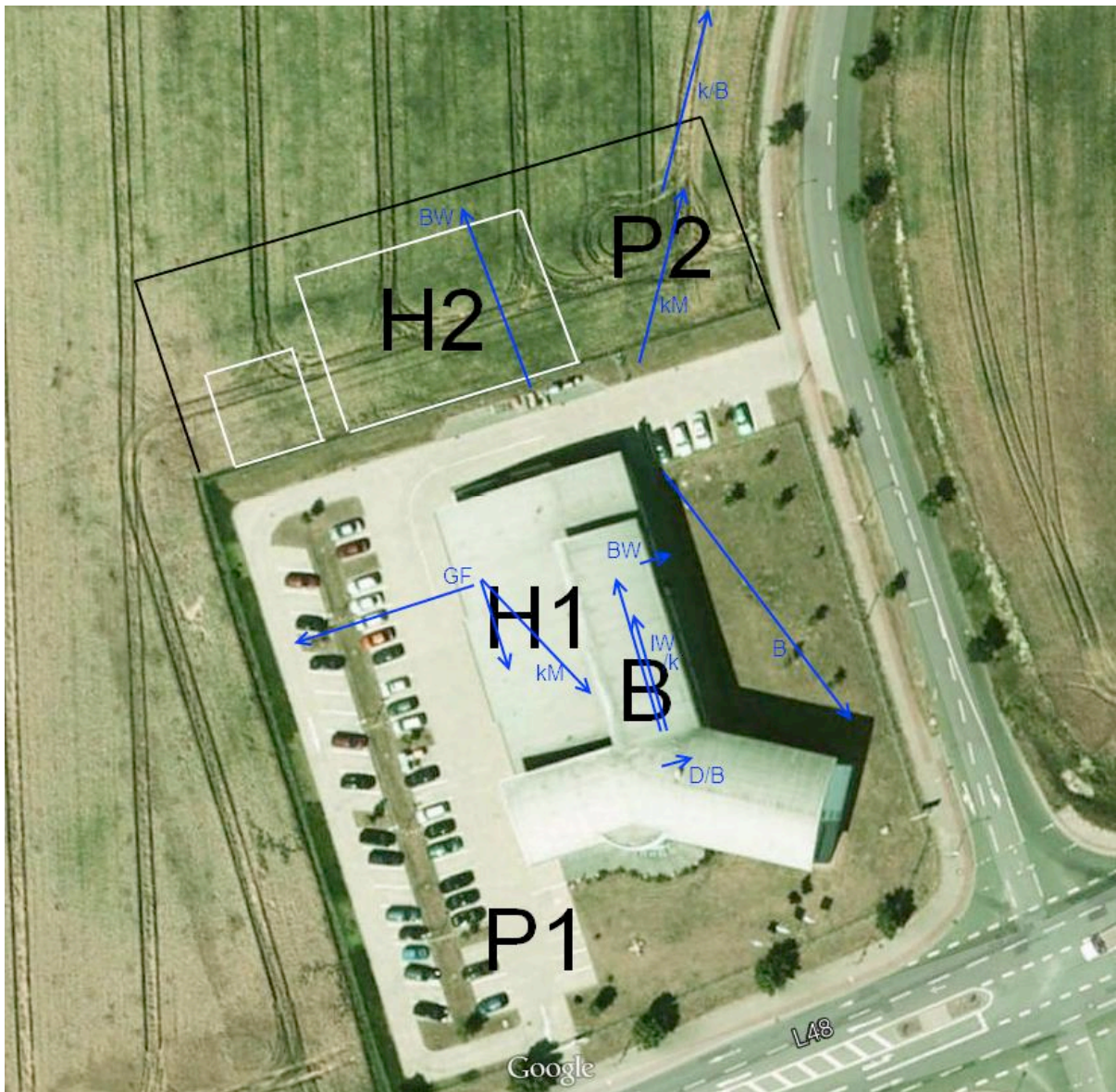


Abbildung 7-2: Messstreckenplanung

Legende:

Erläuterungen			
Level	dBm / mW	Abkürzung	Hindernisse
4	16 / 40,0	AW	Außenwand
3-4	14 / 25,1	B	Baum (Herbst)
3	12 / 15,9	BW	Blechwand/-Tür
2-3	10 / 10,0	D/B	Decke/Boden
2	8 / 6,3	GF	Glasfenster
1-2	6 / 4,0	IW	Innenwand
1	4 / 2,5	gM	größere Maschinen
0-1	2 / 1,6	k	keine
0	0 / 1	kM	kleinere Maschinen
		MT	Metalltür
		T	Holztür

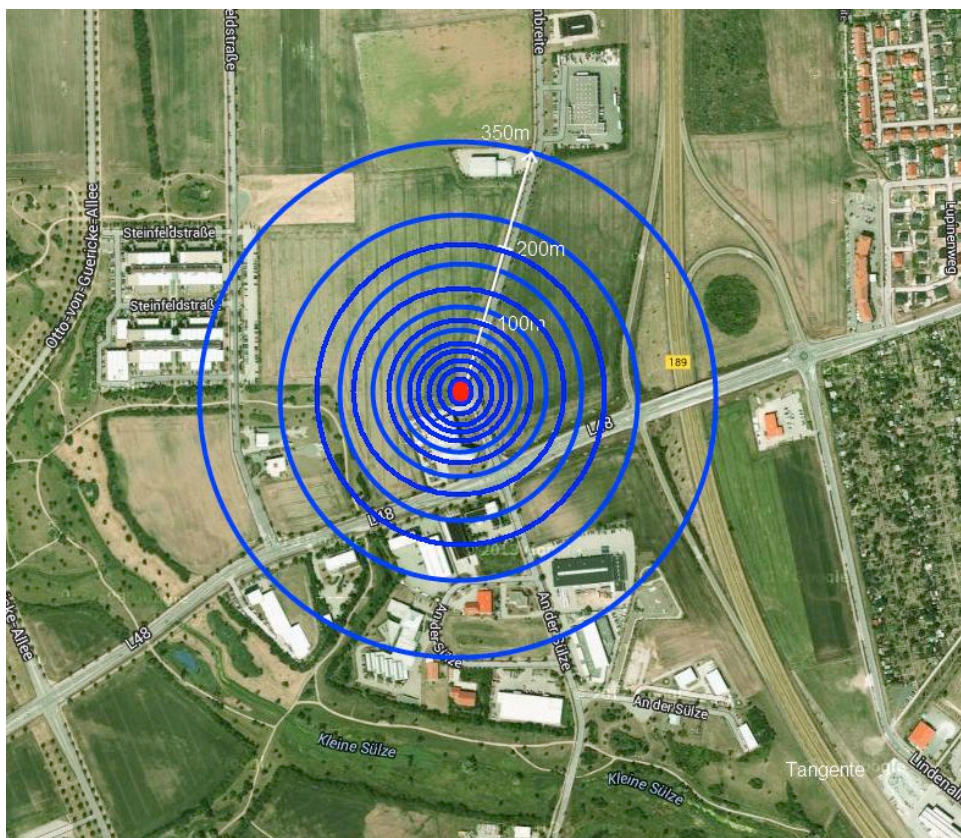


Abbildung 7-3: Reichweitetest Freifeld

Die nun folgende Auswertung bezieht sich auf die Tabelle A0 und die Abbildung A0 aus dem Anhang 1.

Die verschiedenen Testumgebungen sollen den Einfluss von real vorkommenden Hindernissen und Störquellen simulieren. Die Bluetoothverbindung erwies sich meistens als sehr stabil. Das verwendete BT Testgerät verfügt über eine Rundstrahlantenne, welche bauartbedingt nicht auf große Reichweiten ausgelegt ist. Dennoch fiel die Verbindungsqualität besser aus, als zuvor erwartet. Verbindungsabbrüche gab es nur auf dem Freifeld bei Entfernungen größer 350 m und bei dem Versuch des Verbindungsaufbaus durch eine komplette Werkhalle auf eine Entfernung von 50 m. Größere Reichweiten und eine stabilere Verbindung könnten problemlos durch die Verwendung der passenden Antennentechnik, in diesem Fall Antennen mit Richtcharakteristik, erreicht werden. Weiterführende Tests mit den selben Testgeräten ergaben eine negative Beeinflussung bei der Verwendung eines Mikrowellenofens in direkter Sichtlinie der Verbindung. Sobald der Mikrowellenofen nicht mehr aktiv war oder aus der direkten Sichtlinie bewegt wurde, stellte sich der erwartete Pegel von 40 mW (Level 4) wieder ein. Der Betrieb des Mikrowellenofens dämpfte das Signal auf Level 2 ab. Die Entfernung zwischen BT-Sender und BT-Empfänger betrug im Innenbereich 5 Meter.

Das Vorhandensein eines aktiven WLANs beeinflusste die BT-Verbindung in den Tests nicht spürbar. Sämtliche Innenbereichsmessungen bis zu einer Distanz von 10m wurden sowohl mit eingeschaltetem WLAN, als auch ohne WLAN in Sichtlinie durchgeführt. Zeitweise „störten“ bis zu 6 WLAN-Netze in unmittelbarer Umgebung die Bluetoothtests, welche jedoch allesamt keine Auswirkungen auf die Verbindungsqualität zeigten.

7.2.2 Verbindungsqualitätstests bei Modulen in Bewegung

Zwei weitere Testszenarien befassten sich mit dem Anwendungsfall der Funkübertragung bei bewegten Sende- und Empfangsmodulen. Beide Tests fanden im Außenbereich statt.

Testfall 1: Geschwindigkeiten von bis zu 30 km/h (mittels PKW) und festen Entfernungsmarkierungen entlang einer definierten Strecke von 50 m, in deren Mitte (bei 25 m) das Empfangsmodul stationär verblieb.

Testfall 2: BT-Sendemodul auf einem Modellfahrzeug (Maßstab 1:10) bis zu 40 km/h beschleunigt, Empfangsmodul verblieb ebenfalls an stationärem Punkt.

Meßwerte der jeweiligen Testfälle:

Tabelle 7-1: Bluetoothmodule in Bewegung - Testfall 1

Geschwindigkeit	Entfernung [m]				
	-25	-10	0	10	25
10 km/h	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4
20 km/h	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4
30 km/h	Level 3	Level 4	Level 4	Level 4	Level 3

Tabelle 7-2: Bluetoothmodule in Bewegung - Testfall 2

Geschwindigkeit	Radius [m]					
	2	5	10	15	20	25
20 km/h	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4
40 km/h	k.A.	k.A.	k.A.	Level 4	Level 4	Level 3

Die Testfälle sind insofern zu unterscheiden, dass im Testfall 1 generell eine größere Entfernung überbrückt wurde (-25 m, 0 m, +25 m) und im Testfall 2 mit höherer Geschwindigkeit das stationäre Modul umkreist wurde. Der Radius belief sich dabei auf eine Strecke von 2 m bis 25 m.

Der Testfall 1 zeigte leichte Auswirkungen auf das Verbindungslevel an den jeweiligen Endpunkten der Messungen zwischen 20 und 25 m Entfernung bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h. Das Level fiel von Stufe 4 auf 3 ab. Die Messungen bei 10 und 20 km/h ergaben ein konstantes Maximallevel der Verbindungsqualität (Level 4).

Der Testfall 2 ergab ein sehr ähnliches Bild. Hier konnte das Level 4 bis zu einem Radius von 20 m bei ca. 40 km/h gehalten werden. Der Radius von 25 m bei gleicher Geschwindigkeit führte erneut zu einem geringfügigen Abfall des Verbindungslevels auf Stufe 3. Da unter vergleichbaren Messungen im Freifeld mit stationären Modulen das Level 4 bis zu einer Entfernung von 30 m konstant blieb, ist von einer minimalen Beeinflussung der Verbindungsqualität durch die Bewegung der Module auszugehen. Die Verbindung der BT-Übertragungsstrecke ist bei beiden Tests zu keinem Zeitpunkt unterbrochen worden. Ein kritisches Abreißen der Verbindung ist demnach rein durch die Bewegung der Module unwahrscheinlich.

7.3 Beispiel Koexistenzplanungssoftware

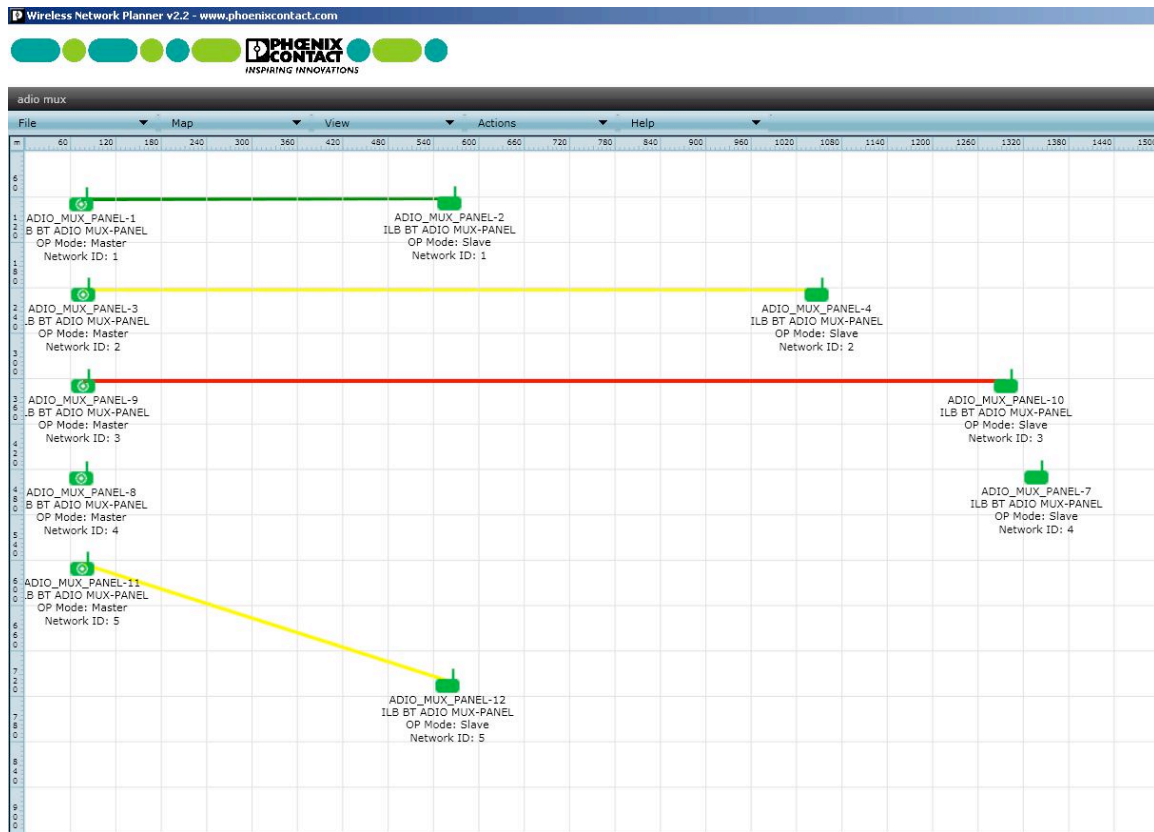


Abbildung 7-4: Beispiel Koexistenzplanungssoftware

Diese Abbildung zeigt beispielhaft die Verwendung des Wireless Network Planner der Fa. Phoenix Contact. Verwendet wurden in diesem Testfall die „ILB BT ADIO MUX“-Panels, welche auch für den Bluetoothteststand im Punkt 7.1 verwendet wurden. Die Signalstärke ist in 4 Kategorien eingeteilt:

- keine Verbindung
- schlechte Verbindung (rot)
- mäßige Verbindungsqualität (gelb)
- gute bis sehr gute Verbindung (grün)

Zum besseren Verständnis wurden jeweils die Grenzfälle dargestellt (wenige Meter vor Farbwechsel).

Ergebnis dieser Simulation ist folgendes:

Die benachbarten Verbindungen stören sich nicht gegenseitig, dieses Verhalten war auch bei Überkreuzung der Übertragungsstrecken sichtbar.

Eine gute Verbindungsqualität lässt sich mit diesen Modulen (ohne fremde Störeinflüsse) bis zu einer Strecke von 540 m erzielen. Bei Strecken größer als 540 m ist mit Störungen zu rechnen (gelb), besonders jedoch ab einer Entfernung von 1020 m (rot). Darüber hinaus ist in der Theorie keine Verbindung möglich.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich bei diesem geplanten Koexistenzszenario lediglich um theoretische Berechnungen handelt, welche einer stör- und reflexionsfreien Umgebung zugrunde liegen.

8 Fazit

8.1 Zusammenfassung / Einsatzempfehlung

Der Anwender sollte sich die Frage stellen, in welcher Umgebung die Funklösung arbeiten muss und mit welcher Datenrate gerechnet werden kann. Abhängig davon wird meist eine Entscheidung zwischen Bluetooth- und WLAN-Technik gefällt. Hierbei ist zu beachten, dass WLAN die klar höhere Datenrate und Reichweite bieten kann und somit die bessere Grundperformance bietet. Bluetooth sollte immer dann die erste Wahl sein, wenn viele Funktechnologien sich in die Quere kommen, da es eine hervorragende Störresistenz aufweist. An dieser Stelle eine kurze Zusammenfassung zur Verdeutlichung der elementaren Kriterien:

WLAN sollte genutzt werden, wenn keine weiteren bzw. nur vereinzelte WLAN-Netze in unmittelbarer Umgebung aktiv sind. Die exklusive Nutzung eines festen Kanals oder eine räumliche bzw. zeitliche Trennung dieser Netze ist anzustreben, um die Verfügbarkeit des Übertragungskanals nicht zu beeinträchtigen. Mit der richtigen Antennentechnik sind Reichweiten von bis zu 4 km bei effektiven Datenraten bis zu 90 MBit/s möglich. Somit ist eine typische Anwendung, bei der Bluetooth allein schon aufgrund der räumlichen Ausdehnung scheitern würde, der Infrastruktursektor. Beispielsweise werden bei Pegelmessungen an Flüssen sehr große Reichweiten überbrückt. Cloud-Backups von Datenbanken erfordern den Durchsatz großer Datenmengen. Dies sind typische Einsatzgebiete für die WLAN-Technik, da auch ein zeitkritisches Verhalten nicht sonderlich relevant ist.

Bluetooth ist bevorzugt einzusetzen bei:

- kleineren Netzwerken - bis zu acht Teilnehmern
- auf mittleren Distanzen - einige 100 m
- Verzicht auf Roamingfunktionen
- vielen parallelen Funktechnologien (2,4 GHz) / unklaren Gegebenheiten vor Ort
- erhöhten Anforderungen an Störsicherheit, Zuverlässigkeit und Safety
- möglichst einfachen Inbetriebnahmen und möglichst wenig Wartungsaufwand
- begrenzter Energieversorgungsmöglichkeit

Ein Paradebeispiel für den Einsatz von Bluetooth ist die Safety-Kransteuerung, bei der kleine Datenpakete konstant übertragen werden müssen. Eine Auslastung der maximalen Datenrate ist hierbei nicht zu erwarten. Die kontinuierliche und somit zuverlässige Übertragung hat absolute Priorität.

8.2 Abschlussdiskussion

„Im Bereich der Zykluszeiten [<5 ms] kann Bluetooth durchaus mit industriellen Bussystemen mithalten. Jedoch aufgepasst, die Performance der Bluetooth-Module ist sehr unterschiedlich, sodass eine Analyse des Zeitverhaltens für die Modulauswahl unumgänglich ist. Letztendlich macht eine Gegenüberstellung von Bluetooth mit anderen Funktechnologien (z.B. WLAN[...]) deutlich, dass das System viele Grundvoraussetzungen für eine kabellose Echtzeitkommunikation von Hause aus mitbringt“ (Verdal)

Bluetooth ist definitiv eine Überlegung wert. Erst recht, wenn es darum geht klassische Punkt-zu-Punkt-Verbindungen flexibel zu realisieren, wo eine Funkstrecke baulich unabdingbar wird. Erst nach einer gewissenhaften Planung von Sendeleistung, Antennencharakteristik, benachbartem Funkumfeld und der Koexistenz der Funkverbindung wird Bluetooth seine Stärken ausspielen. Wer dies allerdings vernachlässigt, wird die üblichen Vorurteile gegenüber Bluetooth an der eigenen Anlage zwangsläufig bestätigt bekommen.

Die Frage nach dem Nutzen und den Risiken für den Anlagenbetreiber kann an dieser Stelle stichpunktartig beantwortet werden.

Nutzen:

- Bedienen und Beobachten von Prozessen – kabellose Einrichtung, Parametrierung und Überwachung von Automatisierungsanlagen
- genereller Kabelersatz für Informationsübertragung auf mittleren Distanzen bei konstanten Datenraten (bis ca. 500 kBit/s).
- zuvor genannte Anwendungen bei erhöhten Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit realisierbar
- leichte Erweiterbarkeit von bestehenden Funksystemen durch unkomplizierte Integration weiterer Bluetoothmodule
- sichere Informationsübertragung an bewegten Anlagenteilen

- sehr zuverlässige Verbindung, sofern das Funkumfeld konstant bleibt - sogar in rauen, industriellen Umgebungen
- verschleißfreie und wartungsarme Verbindung
- globaler Einsatz möglich, da weltweit freies Lizenzband (ISM)

Risiken:

- plötzlicher Abbruch der Verbindung, aufgrund von Reichweiteüberschreitung oder temporären Störquellen
- gezielte Angriffe auf die Verbindung können zum Ausfall und somit zum Anlagenstillstand führen
- gewisse Trägheit der Funkübertragung muss beachtet werden (hoch-dynamische Prozesse müssen ggf. ausgeschlossen werden)
- zukünftige Normierungen könnten Bluetooth für industrielle Anwendungen unbrauchbar werden lassen

Zu dem letzten Risikofaktor folgt an dieser Stelle eine kurze Erläuterung des Sachverhaltes und eine Stellungnahme der Firma Phoenix Contact, aus aktuellem Anlass:

Aussage aus VDI Artikel vom 27. Februar 2015:

„Seit 1. Januar [2015] gelten mit der Norm EN 300 328 V.1.8.1 neue europäische Frequenzanforderungen für Funkanlagen im 2,4-GHz-Frequenzbereich. Sie stammen vom European Telecommunications Standards Institute, kurz Etsi, und regeln mit einem sogenannten „Listen before Talk“-Mechanismus den Frequenzzugang. Echtzeitanforderungen der Industrie werden damit kategorisch ausgeschlossen.“ (Schulzki-Haddouti, 2015)

Daraus ergibt sich folgende **Problematik**:

Der sogenannte „Listen before Talk – Mechanismus“ sieht ein scannen der Belegung des Frequenzbandes vor, um ein faires Zugriffsverfahren bereit zu stellen. Dieser Mechanismus ist bei der WLAN-Technik ohnehin schon seit geraumer Zeit integriert. Er verursacht keine Probleme, da auch WLAN-Module einen industriellen Einsatz vorsehen. Das eigentliche Problem ist die mit dem „Listen before Talk“ verbundene Wartezeit im Bereich weniger Zehntelsekunden. Echtzeitanwendungen, welche generell schon einen schwierigen Stand bei Funkverbindungen haben, werden somit unmöglich realisierbar. Zeitkritische Regelungssignale würden damit komplett uninteressant für eine Funklösung in der Automatisierung werden.

Aber auch dafür gibt es **Lösungen**:

Nachforschungen bei den Entwicklungsingenieuren von Phoenix Contact bestätigten lediglich den Unmut der Branche über diese Entscheidung zugunsten des Consumer-Marktes, nicht jedoch einen vermuteten Ausschluss der Bluetoothtechnik für echtzeitfähige Automatisierungsanwendungen. „Unsere BT-Module sind technisch gesehen überhaupt nicht von dieser neuen Norm betroffen“ (Liebelt, 2015). Es mussten neue, kostspielige und aufwändige Tests durchgeführt werden. Die Hardware blieb unberührt, da ein Listen-before-Talk-Modus auch weiterhin für Bluetooth nicht nötig ist. Dieser wird nur bei adaptiven Systemen gefordert, welche über 10 dBm Sendeleistung ausstrahlen. Eine solche Sendeleistung wird durch den Einsatz von Gewinnantennen bei einigen Phoenix-Geräten allerdings überschritten, hier ist die praktische Lösung dann die sogenannte „Media Utilization“. Diese Technik regelt die Nutzung der Bandbreite über einen Grenzwert im jeweiligen Produkt aus Sendezeit und Sendeleistung. Konkret bedeutet dies, dass bei höherer Sendeleistung die Sendezeit entsprechendermaßen verkürzt werden muss. Das stellt nach Angaben von Phoenix Contact aber keine Probleme dar, da Bluetooth generell eher kleine Datenpakete sendet. Die dafür benötigte Zeit ist kurz genug, um auch mit voller Sendeleistung den Rahmen der „Media Utilization“ nicht zu überschreiten.

Abschließend kann man zu diesem Thema sagen, dass die Neuregelung für den europäischen Raum die Branche der Automatisierungstechnik eindeutig benachteiligt. Die Hersteller haben aber eine Lösung gefunden dieses Problem, zumindest im Hinblick auf Bluetooth, zu umgehen. Die momentane Denkweise der Etsi bildet zukünftig dennoch ein Risiko für die industrielle Nutzung sämtlicher Funktechnik auf Basis 2,4 GHz. Vermutungen liegen nahe, dass auch bei zukünftigen Entscheidungen zu diesem Thema der Massenmarkt - und somit die Unternehmen auf Consumer-Basis - innerhalb der Etsi mehr Gehör finden werden, als die Mitglieder der europäischen Automatisierungsunternehmen.

8.3 Ausblick

Das Thema Funkübertragung in der Automatisierungstechnik ist zum heutigen Zeitpunkt von enormem Interesse. Sowohl Hersteller wie Phoenix Contact, Weidmüller etc. , als auch (mögliche) Anwender dieser Technologien werden sich in Zukunft immer weiter in dieses Gebiet vorwagen. Die „neuen“ Möglichkeiten bei der Planung und Realisierung von Übertragungsstrecken treffen auf gegenseitiges Interesse. Vorteile der Funktelemetrie sind vor allem im Bereich Bedienen und Beobachten zuverlässig realisierbar. An der Safety-Kompatibilität wird mit Nachdruck gearbeitet, sie ist gegenwärtig aber auch schon einsetzbar.

Die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit kamen zu dem Resultat, dass Bluetoothtelemetrie weiter im Kommen ist und sie als zuverlässigste aller Funkverbindungen sogar die erste Wahl der Planungsingenieure sein sollte.

Weiterführende Tests und Hilfestellungen zum Thema: „Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten der Bluetoothkommunikation im Bereich der Automatisierungstechnik“ sollten für zukünftige Anwender verbesserte und detailliertere Planungswerkzeuge bereit stellen und möglicherweise ein systematisches Koexistenzmanagement ermöglichen. Aussagekräftige Tests mit Bezug auf reale Übertragungsgeschwindigkeiten und zeitlicher Kanalverfügbarkeit in verschiedenen, typischen Industrieumgebungen würden mehr Transparenz bieten und das Vertrauen in die Bluetoothtechnik stärken.

9 Literaturverzeichnis

Bücher:

Jörg Brasas, S. H. (2014). Praxisworkshop Industrial Wireless.

Muller, N. J. (2001). *Bluetooth Demystified*. (G. F. Clemens Vargas R., Übers.) California: MITP.

Wollert, J. F. (2002). *Das Bluetooth Handbuch*. Poing, Deutschland: Franzis.

Richtlinien:

VDI. (2007). *Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik*. VDI/VDE.

Verein Deutscher Ingenieure. (2007). *Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik*. Richtlinie, VDI/VDE, Mess- und Automatisierungstechnik.

Telefoninterview:

Liebelt, R. (17. Februar 2015). (M. Klauk, Interviewer)

Internetquellen:

bag.admin.ch. (30. Januar 2007). Abgerufen am 12. März 2015 von

<http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/03571/index.html?lang=de>

bosch-professional.com. Abgerufen am 12. März 2015 von [http://www.bosch-](http://www.bosch-professional.com/de/de/bluetooth-exact-2478886-ocs-c/)

[professional.com/de/de/bluetooth-exact-2478886-ocs-c/](http://www.bosch-professional.com/de/de/bluetooth-exact-2478886-ocs-c/)

Ciupek, M. (10. März 2002). *Bluetooth findet den Weg in die Automatisierungstechnik*.

Abgerufen am 12. März 2015 von [ingenieur.de](http://www.ingenieur.de):

[http://www.ingenieur.de/Fachbereiche/Automation/Bluetooth-findet-Weg-in-](http://www.ingenieur.de/Fachbereiche/Automation/Bluetooth-findet-Weg-in-Automatisierungstechnik)

[Automatisierungstechnik](http://www.ingenieur.de/Fachbereiche/Automation/Bluetooth-findet-Weg-in-Automatisierungstechnik)

elektroniknet.de. Abgerufen am 12. März 2015 von

<http://www.elektroniknet.de/automation/sonstiges/artikel/1140/2/>

hantz.com. Abgerufen am 12. März 2015 von

http://www.hantz.com/ASP/NewProducts/Produkte_3.asp?ProduktID=945&CID=0

hardware-aktuell.com. (2009). Abgerufen am 12. März 2015 von <http://www.hardware-aktuell.com/lexikon/Bluetooth>

Heiko Adamczyk, L. R. *ifak.de*. Abgerufen am Februar 2015 von <http://www.ifak.fhg.de>

Hüppe, D. (4. März 2007). *vdide*. Abgerufen am 12. März 2015 von

[http://www.vdi.de/fileadmin/media/content/kfit/tagungsprogramme/funk_2007-](http://www.vdi.de/fileadmin/media/content/kfit/tagungsprogramme/funk_2007-03/S5_1.pdf)

[03/S5_1.pdf](http://www.vdi.de/fileadmin/media/content/kfit/tagungsprogramme/funk_2007-03/S5_1.pdf)

iso13849-controller.com. Abgerufen am 12. März 2015 von <http://www.iso13849-controller.com/2.html>

itwissen.info. Abgerufen am 12. März 2015 von

<http://www.itwissen.info/uebersicht/lexikon/Bluetooth.html?page=0>

presseportal.de. (4. September 2008). Abgerufen am 12. März 2015 von

<http://www.presseportal.de/pm/63405/1259152/faro-erh-ht-messgenauigkeit-der-faroarm-produkte-und-setzt-auf-bluetooth>

Schulzki-Haddouti, C. (13. Februar 2015). *vdi-nachrichten.com*. Abgerufen am 12. März

2015 von <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Die-2-4-GHz-Falle>

SMA Technology. (2009). *sma.de*. Abgerufen am 11. März 2014 von

<http://files.sma.de/dl/8584/BT-TDE100511.pdf>

sps-magazin.de. (2008). Von [http://www.sps-](http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=43773)

[magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=43773](http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=43773) abgerufen

Verdal, A. *kem.de*. Abgerufen am 17. März 2015 von

[http://www.kem.de/html/portlet/ext/articles-](http://www.kem.de/html/portlet/ext/articles-portlet/articles_content/print.jsp?groupId=22469894&articleId=26127176&companyId=1&accountId=7&version=1.0&p_1_i_d=30620736&articlePk=26127175&layId=9&langId=de_DE)

[portlet/articles_content/print.jsp?groupId=22469894&articleId=26127176&companyId=1&accountId=7&version=1.0&p_1_i_d=30620736&articlePk=26127175&layId=9&langId=de_DE](http://www.kem.de/html/portlet/ext/articles-portlet/articles_content/print.jsp?groupId=22469894&articleId=26127176&companyId=1&accountId=7&version=1.0&p_1_i_d=30620736&articlePk=26127175&layId=9&langId=de_DE)

wirautomatisierer.de. Abgerufen am 12. März 2015 von

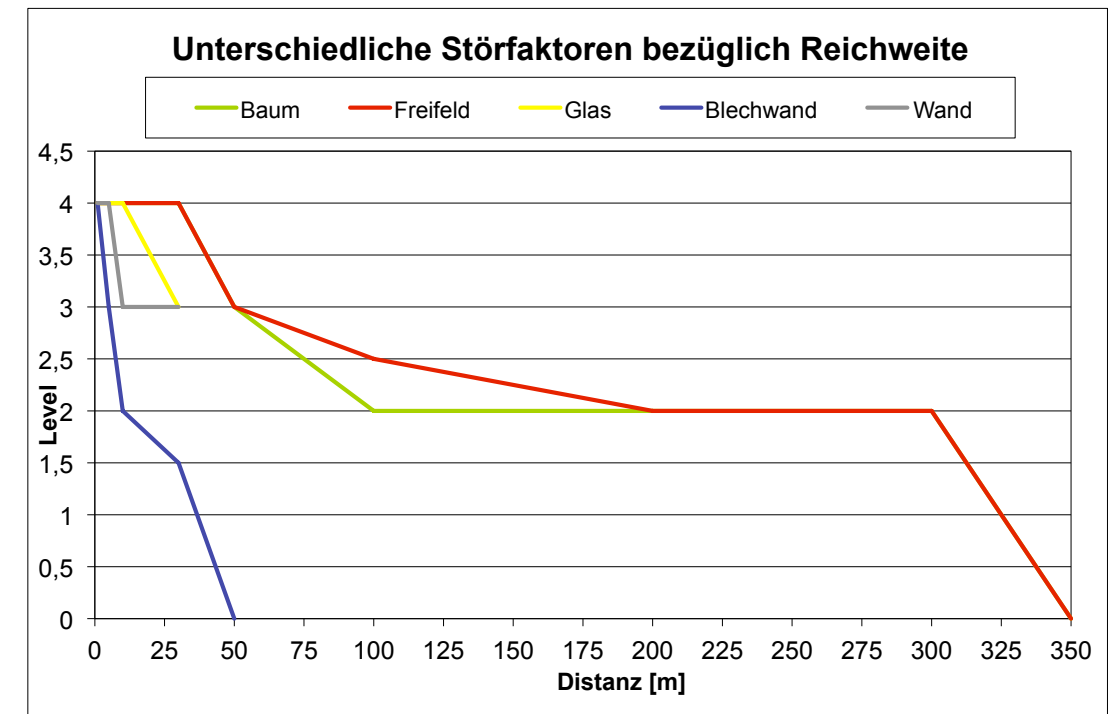
http://www.wirautomatisierer.de/trends/-/article/22469894/26127176/Wie-viel-Echtzeit-steckt-in-Bluetooth/art_co_INSTANCE_0000/maximized/

Anhang

Anhang 1 : Tabelle A0: Testreihen mit BT IO Tester (Phoenix)

Umgebung	Sichtkontakt [j/n]	Anzahl der Hindernisse	Art der Hindernisse	Anmerkungen	Distanz (m)	Verbindungsstärke / Level (0 bis 4)
Innenbereich						
Büro	j	0	k	Luftlinie kurz	1	4
Büro	j	0	k	Luftlinie kurz	5	4
Büro	n	1	IW	Wand	5	4
Büro	n	2	IW	Wand	5	4
Büro	n	2	IW	Wand	10	3
Büro	n	3	IW	Wand	15	3
Büro	n	1	T	Tür	5	4
Büro	n	1	D/B	2 Etagen	3	4
Büro	n	2	D/B	3 Etagen	6	2-3
Werkhalle	n	1	BW	Schaltschrank	0,1	4
Werkhalle	n	1	BW	Schaltschrank	2	4
Werkhalle	n	1	BW	Schaltschrank	5	3-4
Werkhalle	n	1	kM	Anlagenteile(Metall)	10	4
Werkhalle	n	2	kM	Anlagenteile(Metall)	20	4
Innen- und Außenbereich						
Innen- und Außenbereich	j	1	GF	Glas	1	4
Innen- und Außenbereich	j	1	GF	Glas	30	3
Innen- und Außenbereich	n	1	BW	Wand Industrie	0,5	4
Innen- und Außenbereich	n	1	BW	Wand Industrie	5	3
Innen- und Außenbereich	n	1	BW	Wand Industrie	10	2
Innen- und Außenbereich	n	1	AW	Wand Stahlbeton	0,5	4
Innen- und Außenbereich	n	1	AW	Wand Stahlbeton	10	1
Außenbereich						
Außenbereich	j	0	k	Freifeld	10	4
Außenbereich	j	0	k	Freifeld	30	4
Außenbereich	j	0	k	Freifeld	50	3
Außenbereich	j	0	k	Freifeld	100	2-3
Außenbereich	j	0	k	Freifeld	200	2
Außenbereich	j	0	k	Freifeld	300	2
Außenbereich	n	1	B	Freifeld	350	0
Außenbereich	n	1	B	Freifeld	30	4
Außenbereich	n	1	B	Freifeld	50	3
Außenbereich	n	2	BW	komplett durch Werkhalle	30	1-2
Außenbereich	n	2	BW	komplett durch Werkhalle	50	0

Abbildung A0: Diagramm Reichweite bei Störung des Signals



Level	dBm / mW	Abkürzung	Hindernisse
4	16 / 40,0	AW	Außenwand
3-4	14 / 25,1	B	Baum (Herbst)
3	12 / 15,9	BW	Blechwand/-Tür
2-3	10 / 10,0	D/B	Decke/Boden
2	8 / 6,3	GF	Glasfenster
1-2	6 / 4,0	IW	Innenwand
1	4 / 2,5	gM	größere Maschinen
0-1	2 / 1,6	k	keine
0	0 / 1	kM	kleinere Maschinen
		MT	Metalltür
		T	Holztür

Anhang 2 : Tabelle A1: Bewertungsmatrix_Neu

		[0=nein, 1=ja]			Bluetooth			WLAN			ZwischenspA	ZwischenspB	K.O.?
Funktionale Kriterien	Abgrenzung / Erläuterung	Eingabeformat	K.O. Kriterium?	Wichtung(1 bis 3)	Soll-Anforderung	Ist-Anforderung Technologie A	Punkte A (0-5-10)	Ist-Anforderung Technologie B	Punkte B (0-5-10)				
Reichweite mobiler Teilnehmer	Entfernung Sender / Empfänger	[m]								0	0	o.k.	
Nur Innenbereich?		[j/n]								0	0	o.k.	
Spannungsversorgung über Akku?	nötig?	[j/n]								0	0	o.k.	
Anzahl der Teilnehmer	in einem Kommunikationsnetz	[Zahl]								0	0	o.k.	
Mobilität	Sender oder Empfänger in Bewegung?	[j/n]								0	0	o.k.	
Topologie	Point-to-Point	[j/n]								0	0	o.k.	
	Stern	[j/n]								0	0	o.k.	
	Ring	[j/n]								0	0	o.k.	
	Masche	[j/n]								0	0	o.k.	
Zeitverhalten	Reaktionszeit (Aufwachzeit)	[ms]								0	0	o.k.	
	Übertragungszeit	[ms]								0	0	o.k.	
	Antwortzeit	[ms]								0	0	o.k.	
Sicherheit	Bitfehlerrate (BER) <10e-6	[j/n]								0	0	o.k.	
	Verschlüsselung	[j/n]								0	0	o.k.	
	Authentifizierung	[j/n]								0	0	o.k.	
	Ex-Schutz	[j/n]								0	0	o.k.	
	Security	[Wertung]								0	0	o.k.	
	Safety	[Wertung]								0	0	o.k.	
Verfügbarkeit	Zuverlässigkeit	[Wertung]								0	0	o.k.	
Konfiguration	Handhabbarkeit der Einrichtung	[Wertung]								0	0	o.k.	
Umgebungsbezogene Kriterien		Eingabeformat	K.O. Kriterium?	Wichtung(1 bis 3)	Soll-Anforderung	Ist-Anforderung Technologie A	Punkte A (0-5-10)	Ist-Anforderung Technologie B	Punkte B (0-5-10)				
Sendeleistung		[Zahl]								0	0	o.k.	
Begrenzung der Reichweite nötig?		[j/n]								0	0	o.k.	
EMV	Störung anderer Systeme	[io/nio]								0	0	o.k.	
	Störung durch andere Systeme	[io/nio]								0	0	o.k.	
Produktbezogene Kriterien		Eingabeformat	K.O. Kriterium?	Wichtung(1 bis 3)	Soll-Anforderung	Ist-Anforderung Technologie A	Punkte A (0-5-10)	Ist-Anforderung Technologie B	Punkte B (0-5-10)				
Abmessungen		[Zahl]/[Zahl]/[Zahl]								0	0	o.k.	
elektr. Leistungsaufnahme		[Zahl]								0	0	o.k.	
Anschaffungskosten		[Zahl]								0	0	o.k.	
Lizenzgebühren		[j/n]								0	0	o.k.	
Herstellerbindung		[j/n]								0	0	o.k.	
							Summe A nach Wichtung:	0	Summe B nach Wichtung:	0			

Hinweise zur Punktevergabe:

[Wertung]	[j/n] und [io/nio]
wichtig=10	j/io = 10
neutral=5	n/nio = 0
unwichtig=0	

Anhang 3: Tabelle A2: Bewertungsmatrix Beispiel nach Vorgaben des VDE- Anhang Tabelle 2 (Original)

Funktionales Kriterium (z.B. Entfernung)									
	Wichtung	K.O.-Kriterium	Anforderungsprofil (Anforderungen aus Tabelle 1)	Merkmale des Funksystems A (z.B. Bluetooth)			Merkmale des Funksystems B (z.B. DECT)		
				Reichweite	Sendeleistung	...	Reichweite
Funktionale Kriterien									
Überbrückbare Entfernung									
Reichweite mobiler Teilnehmer	hoch	nein	30 m bis 300 m	50 m			50 m Indoor/ 300 m Outdoor auf 3 km erweiterbar (Gewinnantenne)		
...									
Anzahl der Teilnehmer									
Anzahl der Teilnehmer									
...									
...									
Umbungsbezogene Kriterien									
...									
...									

*Abschrift der Originaltabelle nach VDE

Anhang 4: Tabelle A3: Bewertungsmatrix Beispiel nach Vorgaben des VDE (Optimiert/Vervollständig)

Vergleich Nummer: Bearbeitung durch:	Wichtung	K.O.-Kriterium	Anforderungsprofil / Soll-Zustand	Merkmale Funksystem A (=...) Ist-Zustand A	Merkmale Funksystem B (=...) Ist-Zustand B	Kommentare
Funktionale Kriterien						
<i>Überbrückbare Entfernung</i>						
Reichweite mobiler Teilnehmer	hoch	nein	30 m bis 300 m	50 m	50m/300m	Beispielzeile
Größte Reichweite zwischen stationären Teilnehmern						
Gewünschte Begrenzung der Reichweite						
<i>Anzahl der Teilnehmer</i>						
Anzahl der Teilnehmer						
<i>Topologie</i>						
Topologie						
<i>Art der Teilnehmer</i>						
Stationär						
Temporär						
Portabel						
Mobil						
<i>Dienste</i>						
Prozessdaten						
Sicherheitsdaten (Not-Aus)						
Eichdaten						
Video						
Sprache						
<i>Zeitverhalten</i>						
Antwortzeit						
Übertragungszeit						
Varianz der Zeiten (jitter)						
Zykluszeit						
<i>Nutzdaten je Teilnehmer</i>						
Sensor/Aktor						
Controller						
Visualisierung						
<i>Übertragungs- und Datensicherheit</i>						
Bitfehlerrate						
Zuverlässigkeit						
Verfügbarkeit						
EMV						
Informationssicherheit (Security)						
Funktionale Sicherheit (Safety)						
Ex-Schutz						
<i>Konfiguration, Inbetriebnahme und Betrieb</i>						
Engineering-Unterstützung						
Netzwerkmanagement						
Ausfall von Teilnehmern						
Hinzufügen von Teilnehmern						
Entfernen von Teilnehmern						
Umgebungsbezogene Kriterien						
<i>Einsatzort</i>						
Reichweite mobiler Teilnehmer						
Größte Reichweite zwischen stationären Teilnehmern						
Gewünschte Begrenzung der Reichweite						
Indoor/Outdoor						
Konstruktive Gegebenheiten						
Durchdringung von Hindernissen						
Robustheit gegenüber veränderlichen Hindernissen						
<i>Umweltbedingungen EMV</i>						
Störung anderer Systeme (EMV)						
Störung durch andere Systeme (EMV)						
EMVU (biologische Verträglichkeit)						
Einsatz im Ex-Bereich						
Produktbezogene Kriterien						
<i>Konstruktion</i>						
Abmessungen						
Integration						
Elektrische Leistungsaufnahme						
<i>Kosten</i>						
Komponentenkosten						
Lizenzen						
Gebühren der Netzbetreiber						
<i>Zielmarkt</i>						
Frequenzbandeinschränkungen						
Derzeitige Auslastung Frequenzband						
Künftige Auslastung Frequenzband						
Anmerkungen / Erläuterungen						

Abstufung: K.O.-Kriterium:
hoch-mittel- nur ja / nein
gering-keine

Begriffe und Definitionen

Adaptive Frequency Hopping (AFH)

Adaptive Frequenzsprünge erfolgen auf Basis einer Frequenzliste. Gestörte oder belegte Frequenzteile werden mit dem AFH gezielt ausgelassen (Prinzip: Channel Blacklisting). Die freien Kanäle werden in einer zufälligen Reihenfolge für die Datenübertragung freigegeben und die Datenpakete werden anschließend sequentiell übermittelt. Ziel dieser Technik ist eine erhöhte Störresistenz und Abhörsicherheit. Bluetooth verwendet das AFH seit dem Standard 1.2.

Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Bei dem DSSS-Verfahren kommt es zu einer Aufspreizung des ursprünglichen Signals mittels vorgegebener Bitfolge. Ziel ist es das Nutzsignal robuster gegenüber einer bestimmten Form von Störsignalen zu machen. Der originale Bitstrom wird in mehrere Subbits übersetzt und anschließend beim Empfänger wieder zusammengefügt.

Echtzeitfähig

Echtzeitfähigkeit bezeichnet Systeme, in denen es eine garantierte maximale Zeit für die Datenübertragung gibt.

EMV-Anforderungen

EMV-Anforderungen sind Anforderungen an ein Gerät bezüglich elektromagnetischer Verträglichkeit

(Reaktion gegenüber Störquellen; Verhalten als Störquelle).

Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

Das FHSS ist ein Verfahren, bei dem das Sendesignal ebenfalls nach einer bekannten Sequenz und nach einem bekannten Zeitmuster zwischen unterschiedlichen Frequenzkanälen wechselt. Es entsteht ein, im Mittel verbreitertes, gespreiztes Signalspektrum.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Magdeburg, den 20.03.2015

(Michael Klauk)

Einverständniserklärung

Ich erkläre mich einverstanden/~~nicht einverstanden~~, dass meine Bachelorarbeit an Personen, die nicht mittelbar oder unmittelbar an meiner Prüfung beteiligt sind, ausgeliehen wird.

Magdeburg, den 20.03.2015

(Michael Klauk)