

Seminar - Eingebettete drahtlose Systeme

Vortrag zum Thema:

WISA – Wireless Interface for Sensors and Actuators

- Motivation
- Anforderungen an WISA
- Grundlagen
 - WISA-POWER
 - WISA-COM
 - Kommunikationsprotokoll
- Praxisbeispiele
- Fazit und Ausblick

Gliederung des Vortrags:

- Motivation
- Anforderungen an WISA
- Grundlagen
- Beispiele
- Zusammenfassung

MOTIVATION

- große Anzahl von Sensoren und Aktuatoren in industriellen Fertigungsanlagen
- Kabel zur Datenübertragung und Stromversorgung benötigt
- Nachteile:
 - hoher Material- und Montageaufwand
 - häufige Ursache für Betriebsstörungen
 - schlecht Erweiterbar
 - umständliche Umrüstung
 - kostenintensiv

In jeder industriellen Fertigungsanlage gibt es eine große Zahl (mehrere Tausende) von Sensoren und Aktuatoren (SA), von denen jeder einzelne Kabel zur Datenübertragung und Stromversorgung benötigt.

Bisherige drahtgebundene Lösungen, bei denen Sensoren und Aktuatoren an beweglichen Teilen wie Förderbändern, rotierenden Achsen oder Robotern montiert sind, erfordern dann oft komplexe mechanische Lösungen, die nicht nur kostenintensiv hinsichtlich Engineering und Installation sind, sondern auch die Bewegungsfreiheit einschränken und eine potenzielle Fehlerquelle darstellen können.

So kann sich z.B. ein hängendes Kabel bei Bewegung verheddern bzw. durch dauernd wiederholte Bewegungen beschädigt werden.

Neben den anfallenden Kosten für die Verlegung und dem Risiko von Verdrahtungsfehlern müssen bei nachträglichen Änderungen der Anlagenkonfiguration bzw. des Produktes häufig gerade die kritischen Teile der Anlagen oder Maschinen neu verkabelt bzw. erweitert werden.



Die Tatsache, dass in vielen Anlagen seit einigen Jahren Feldbusse unterschiedlichster Art eingesetzt werden, hat die Situation in der Feldebene nicht verbessert.

Die SA werden noch immer oftmals über Kabel und in sternförmiger Verkabelung mit (Bus-) Anschaltungen verbunden (vgl. Abbildung).

Von allen Sensoren und Aktoren in der Fertigungsautomatisierung sind mehr als 70% Sensoren, davon wiederum besteht der größte Teil aus Näherungssensoren mit induktiven/magnetischen Prinzipien. Da induktive Näherungsschalter nur auf Metall ansprechen, sind sie im Allgemeinen unempfindlich gegenüber Schmutz und deshalb auch die meistgenutzten Sensoren im Bereich der Maschinensteuerung. Diese Näherungsschalter melden der Steuerung mit hoher Zuverlässigkeit Daten über Status von Maschinenteilen, Produkten und Werkzeugen sowie über Bewegungen. Die Sensoren sind immer über fast den gesamten Bereich der zu steuernden Anlage verteilt.

Um diese Probleme nun zu lösen, möchte man die Vorteile von drahtlosen Technologien einsetzen.

Ziel war es, eine echtzeitfähige drahtlose Maschinensteuerung und Energieversorgung zur Verfügung zu stellen.

Abbildung: Typische Architektur und Anzahl der Kabelverbindungen einer diskreten automatisierten Fertigung in einer Fabrik

- Vorteile einer drahtlosen Maschinensteuerung
 - ☛ Kostenreduzierung durch einfache Planung und Installation
 - ☛ Steigerung der Produktivität durch Mobilität, Flexibilität und schnellen Anschlussvorgang
 - ☛ erleichterte Wartung
 - ☛ leichtere Einbindung neuer Sensor
 - ☛ Weniger Betriebsstörungen

In automatisierten Fertigungsanlagen hat eine drahtlose Maschinensteuerung folgende Vorteile:

- Drahtlose Komponenten lassen sich leichter installieren, erfordern weniger Engineering-Aufwand und verursachen deutlich weniger Betriebsstörungen in der Feldebene als drahtgebundene Systeme.
- Dadurch werden die Gesamtkosten erheblich reduziert.
- Weiterhin wird durch die Mobilität, die Flexibilität und den schnellen, da drahtlosen, Anschlussvorgang für zusätzliche Feldgeräte/SA an Steuerungen die Produktivität erhöht und die Wartung erleichtert.
- Um nun diese Vorteile in der Feldebene nutzen zu können, müssen zumindest für kritische Feldgeräte alle Kabel durch eine drahtlose Technik ersetzt werden, das erfordert eine Echtzeitfähige Datenübertragung per Funkverbindung sowie die drahtfreie Versorgung der Feldgeräte mit Energie.

- Zuverlässigkeit
- Echtzeitfähigkeit
 - sehr kurze Ansprechzeiten (Latenz) von weit unter 10–15ms
- Störfestigkeit
 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
 - Umgebungsbedingungen
 - Anderen Funksystemen (z.B. WLAN)
- Hohe Knotenzahl
 - Bis zu 300 Knoten/Maschine
- Geringer Energiebedarf
 - drahtlose Versorgung
- Kostengünstig

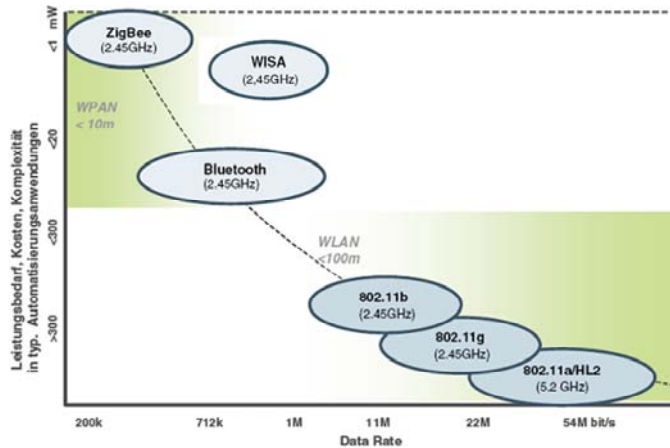
Welche konkreten Anforderungen müssen nun an eine Funktechnologie in Maschinen und Anlagen gestellt werden?

Die wichtigsten Kriterien sind:

- **Zuverlässigkeit** (in automatisierten Fertigungsanlagen muss die drahtlose Datenübertragung zu den SA genau so zuverlässig sein wie die drahtgebundene),
- **Echtzeitfähigkeit** (die SA sind Teil eines geschlossenen Steuerkreislafes und daher ist das Einhalten der strengen Zeitvorgaben von größter Wichtigkeit),
- **Störfestigkeit** (die drahtlose Datenübertragung muss sicher in einer Umgebung funktionieren, in der Interferenzen durch andere Systeme, z.B. Bluetooth und WLAN auftreten können, aber auch durch die Vielzahl derselben drahtlosen Geräte in derselben Automatisierungs-anwendung bzw. durch Zehntausende von solchen drahtlosen Knoten in einer Fabrikhalle),
- **Knotenanzahl** (schon bei relativ kleinen Fertigungsmaschinen mit oft wenigen Kubikmetern Volumen finden sich bis zu 300 einzelne SA),
- **Energiebedarf** (die Energiemenge pro Datenübertragung muss so gering wie möglich sein) und
- **Kosten**

ANFORDERUNGEN

- Existierende Standards erfüllen diese Anforderungen nicht!

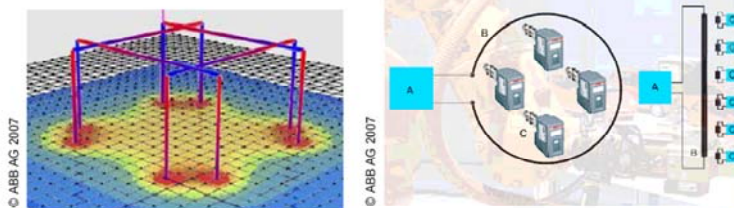


Von den heute zur Verfügung stehenden drahtlosen Standards erfüllt keiner alle Anforderungen der Anwendung in der industriellen Fertigungsautomation.

- Beispiel 1: Systeme mit geringer Leistungsaufnahme oder passive Identifizierungssysteme wie RFID und SRD, die oft in Kaufhäusern eingesetzt werden, weisen eine zu geringe Reichweite und Flexibilität auf.
- Beispiel 2: WLAN und die meisten drahtlosen Systeme mit geringer Reichweite (z. B. Bluetooth) unterstützen bei einer beträchtlichen Leistungsaufnahme nur eine geringe Anzahl von Geräten / SA.
- Beispiel 3: Das vieldiskutierte ZigBee zielt unter anderem auch auf industrielle Anwendungen (unkritische Schaltheftungen, sporadische Messdaten), ist allerdings bezüglich Zuverlässigkeit und Störfestigkeit keinesfalls für z.B. Maschinensteuerungen geeignet, hinzu kommt das die Datenübertragungsrate von ZigBee ist zu niedrig und das System ist bei einer größeren Anzahl von Knoten nicht echtzeitfähig im Sinne der Fertigungsautomation.

Abbildung: Verhältnis Energiebedarf zu Datenübertragungsrate bei verschiedenen drahtlosen Datenübertragungssystemen

- WISA besteht aus:
 - WISA-POWER (Energieversorgung)
 - WISA-COM (Datenübertragung)
- WISA-POWER
 - Elektromagnetische Kopplung am besten geeignet
 - Primärschleifen (B) werden um die zu versorgenden Anlage angebracht und mit Wechselstrom (A) betrieben
 - drahtfreien Geräte (C) selbst sind mit Sekundärwicklungen ausgestattet
 - ☛ rotierendes Magnetfeld (Resonanzbetrieb bei genau 120kHz)
 - Energiegewinnung aus Magnetfeld



Folglich musste ein neuartiges Verfahren zur drahtlosen Datenübertragung entwickelt werden. Dieses Verfahren nennt sich WISA (Wireless Interface to Sensors and Actuators) und besteht aus folgenden zwei Technologien:

WISA-power für die Stromversorgung und

WISA-com für die Datenübertragung

Die als **WISA-Power** bezeichnete innovative Energieversorgung nutzt schwache magnetische Felder.

Die Energie wird wie in einem Transformator übertragen:

Sogenannte Primärschleifen werden in der zu versorgenden Anlage angebracht und mit Wechselstrom gespeist. Die drahtfreien Geräte selbst sind dann mit Sekundärwicklungen ausgestattet, dessen Größe bestimmt dabei die entnehmbare Leistung. Die Primärschleifen können durch die Weitbereichsregelung der Stromversorgungseinheiten auch anwendungsspezifisch ausgeführt werden. Beispielsweise ringförmig bei rotierenden Maschinenteilen oder in länglichen bis zu 40 m langen Abschnitten entlang von Förderbändern, um z.B. dort Schleifleitungen zu ersetzen.

Üblicherweise werden zur Versorgung einer ganzen Maschine bzw. einer Anlage zwei oder mehr Primärschleifenpaare angebracht, die dann insgesamt ein Drehfeld innerhalb der Maschine erzeugen und so auch Abschirmungen tolerieren können.

- WISA-COM

- arbeitet im lizenzfreien (EU) 2,4-GHz-IMS-Band
- Sensoren und Aktuatoren (SA) werden drahtlos mit Eingabemodul verbunden
- technische Komplexität überwiegend im Eingabemodul integriert
- Hardware für die Kommunikation basiert auf einem handelsüblichen, kostengünstigen Bluetooth-Transceiver
 - Erweiterung durch spezielles Protokoll



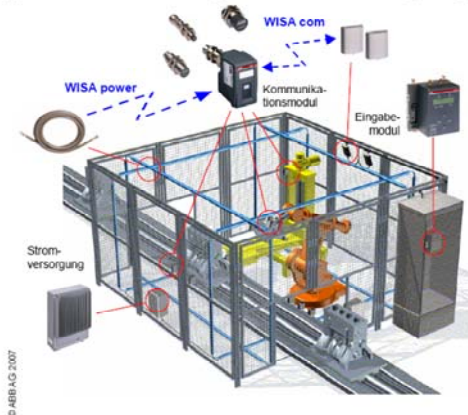
a) Eingabemodul mit Antennenkabeln und Feldbusstecker (FBP) b) Sensor mit Kommunikationsmodul (links) Elektronik des Kommunikationsmodul (rechts)

Die Hardware **WISA-com** für die Kommunikation mit dem Sensor basiert auf einem handelsüblichen Bluetooth-Transceiver, um von dessen Vorteilen (geringer Preis aufgrund der hohen Produktionszahlen, Integration der Bauteile, dadurch geringe Größe, und geringe Leistungsaufnahme) zu profitieren.

Durch WISA werden die SA drahtfrei mit dem Eingabemodul („Basisstation“) verbunden. Dabei befindet sich die technische Komplexität überwiegend nicht in den SA, sondern in einem neuen Eingabemodul. Ein solches Eingabemodul kann bis zu 120 drahtfreie Sensoren bedienen. Auch wenn die WISA-Implementierung der eines WLAN- Zugangsknotens ähnelt, hebt sie sich durch folgende besondere Merkmale klar davon ab:

- Gleichzeitiges Senden und Empfangen, d. h. Vollduplex- Betrieb,
- Gleichzeitiger Empfang von starken und schwachen Signalen
- Interferenzunterdrückung, d. h., der Empfang eines sehr schwachen SA-Signals ist sogar dann möglich, wenn auf einer benachbarten Frequenz starke Interferenzen auftreten
- Sende- und Empfangsantennen des Eingabemoduls werden ständig umgeschaltet, um Fading und Funkschatten vorzubeugen
- Getrennte Überwachung von Präsenz und Status der SA, (Reaktionszeit: bei Ausfall 500ms)

- typische robotergestützte Fertigungsanlage



- 120 Sensoren pro Eingabemodul
- bis zu 360 Sensoren pro Zelle
- Fertigungszellen bis 6x3x3m
- Zellulärer Aufbau:
10.000-100.000 Sensoren pro Fabrik
- Latenzzeit < 15ms (worst case)

Abb.: Kommunikationsmodule werden über das elektromagnetische Feld mit Energie versorgt und kommunizieren mit dem Eingabemodul

Die Abbildung zeigt die WISA Interfaces beispielhaft in einer typischen robotergestützten Fertigungsanlage. Die Energieversorgung besteht aus der Stromversorgung und vier Primärschleifen, die um die Maschine herum angeordnet sind und das rotierende Magnetfeld erzeugen.

Die Kommunikationsmodule werden über das elektromagnetische Feld (WISA-power) mit Strom versorgt und kommunizieren mit dem Eingabemodul (WISA-com) und sie können mit unterschiedlichen Sensorköpfen ausgerüstet werden.

- Spezielles Kommunikationsprotokoll
 - Optimierung auf:
 - möglichst kurze Latenz auch bei hoher Knotendichte und Anzahl
 - höchste Zuverlässigkeit und
 - einen geringen Energiebedarf
 - mittlere Datenrate im Bereich von 1Mbps genügt
 - Umsetzung durch:
 - TDMA, d.h. ein fester Zeitschlitz pro Sensor
 - neuartiges Frequenzsprungverfahren (FH) kombiniert mit einer Fehlererkennung und automatischer Übertragungswiederholung (ARQ)
 - Sensor bleibt inaktiv („Schlafmodus“) bis zu einer Statusänderung
 - Schneller Verbindungsaufbau (~2ms) zum Eingabemodul
 - Gleichzeitiger Empfang von starken und schwachen Signalen (bis zu 60dB Differenz)
 - Präsenzmeldung zur Systemdiagnose zweimal pro Sekunde
 - Bitfehlerrate (BER) von kleiner (10^{-6} -) 10^{-9}

Ein spezielles **Kommunikationsprotokoll** teilt jedem Sensor einen Zeitschlitz und eine Frequenz für das Senden seiner Daten zu und sichert ihm so einen kollisionsfreien Zugang zum Übertragungsmedium.

Das Protokoll ist so ausgelegt, dass die Anforderungen (Kommunikation mit einer großen Anzahl von Sensoren und kurze Reaktionszeit) erfüllt, sowie die gesamte Frequenzbandbreite genutzt werden. Um eine fehlerfreie Übertragung auch im Falle von Interferenzen durch Bluetooth, WLAN, Mikrowellenherde und elektronische Markierungs-systeme zu gewährleisten, wird zusätzlich ein Frequenzsprung-Verfahren in Kombination mit Fehlererkennung und automatischer Übertragungswiederholung (ARQ) bei Fehlübertragung eingesetzt.

Das Kommunikationsmodul des Sensors bleibt inaktiv, bis es zu einer Änderung des Sensorstatus kommt. Auf diese Weise wird der Stromverbrauch stark reduziert. Ändert sich sein Status, kann der Sensor die Verbindung über das Pilotsignal des Eingabemoduls sehr schnell herstellen (~2ms) und dann seine Nachricht senden.

Ein wichtiges Entwicklungsziel war eine Bitfehlerrate (BER) von kleiner 10^{-9} , dies entspricht einer Verkabelung oder einer Feldbus-Verbindung im industriellen Einsatz.

- Basiert auf der Bitübertragungsschicht des IEEE 802.15.1
 - ISM Frequenz-Band, 2,4 GHz
 - Bitrate 1 Mbit/s , $T_{bit} = 1 \mu s$
 - Übertragungsenergie etwa 3mW pro Sensor

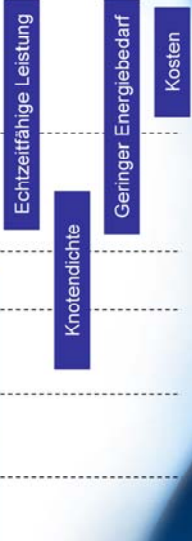
- MAC: Time Division Multiple Access (TDMA)
 - Framelänge: $T_{frame} = 2.048 \mu s$
 - 32 uplink slots pro Frame ($T_{slot} = 64 \mu s$)
 - 4 parallel uplink slots $\rightarrow 4 \times 30 = 120$ Sensoren / Zelle

- Frequency Division Duplex (FDD)
 - Sender und Eingabemodul können gleichzeitig senden

- Frequency Hopping (FH)
 - frequency hopping von Frame zu Frame
 - synchroner Wechsel von downlink und uplinks

- Antenna-Diversity
 - Sende- und Empfangsantennen des Eingabemoduls werden ständig umgeschaltet

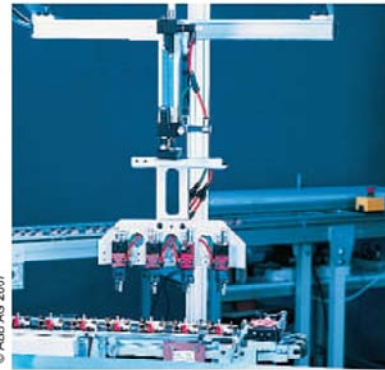
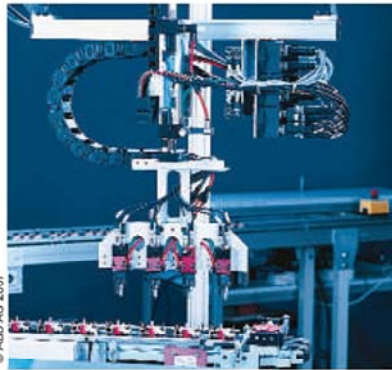
- Automatic Repeat Request (ARQ)
 - bis zu 7 Versuche innerhalb 15ms



Das Kommunikationsprotokoll basiert auf der Bitübertragungsschicht des IEEE 802.15.1 im lizenzfreien (EU) 2,4GHz ISM Frequenz-Band. Die Datenrate liegt bei ca. 1Mbit/s. Die für die Übertragung benötigte Energie liegt derzeit bei unter 7mW (je etwa 3mW für Sensor und Kommunikation) im "Worst Case".

WISA nutzt alle sinnvollen technischen Verfahren zur robusten, schnellen Funkübertragung in industrieller Umgebung. Dazu gehört insbesondere ein Zeitschlitzverfahren mit bis zu 64 μs kurzen Zeitschlitzten, das einen parallelen Zugriff aller 120 Funkknoten einer Basisstation gleichzeitig erlaubt. Charakterisiert werden kann WISA weiterhin durch eine Zykluszeit von 2ms, eine fest begrenzte, kleine Sendeleistung (also eine kleine Störreichweite) und eine leistungsfähige Basisstation, die alle Signale über einen Feldbus an eine Steuerung übergibt.

- Mit und ohne Sensorkabel



Obwohl Sensoren inzwischen recht einfach in die Maschinenkonstruktion einbezogen werden können, ist der Planungs- und Montageaufwand für die Kabel immer noch recht hoch, besonders wenn die Kabel jeder Maschinenbewegung folgen müssen.



- Inzwischen sind bereits WISA-Installationen mit bis zu 250 Knoten in mehreren parallelen Maschinen und WISA-Netzen in enger Nachbarschaft in Betrieb

In der Praxis werden drahtlose Anwendungen dort eingesetzt werden, wo sich wirkliche Vorteile ergeben. Das ist offensichtlich der Fall in den abgebildeten Anwendungen in der Feldebene, mit oft langen und komplexen Kabelwegen, insbesondere dort wo zusätzliche Faktoren wie Bewegung, nötige Flexibilität oder erhöhte Anforderungen durch die Umgebung auftreten. Es gibt eine Reihe von Anwendungen in denen vorbeugend regelmäßig Kabelsätze getauscht werden um Stillstände zu verhindern.

Die WISA Technologie hat sich in sehr unterschiedlichen Anwendungen bewährt, von Anlagen mit nur wenigen drahtfreien Sensoren bis zur größten bisher realisierten Anlage, eine Kabelverseilmaschine in Karlskrona, Schweden. Die erste Kabelverseilmaschine wurde im September 2005 mit insgesamt 156 drahtfreien Näherungsschaltern nachgerüstet, welche alle relativ zueinander und zur Umgebung komplexe rotierende Bewegungen ausführen. Bereits nach wenigen Monaten war durch vermiedene Fehler im Produkt (ein Hochspannungskabel) ein Vielfaches der Gesamtkosten des drahtfreien Systems eingespart. Ein gutes Beispiel, das drahtfreie Technologien auch neue Anwendungsfelder erschließen und besonders in der Nachrüstung schnell ihre Wirtschaftlichkeit zeigen.



Diese Abbildung zeigt einen Teil einer Fertigungslinie für Motorschutzschalter, bei dem insbesondere für den mehrachsigen Greifer drahtfreie Sensoren eingesetzt wurden. Die Primärschleifen für die Energieversorgung sind in die Struktur der Maschine integriert und versorgen das innere Volumen der Maschine mit einem Magnetfeld. Der Abstand für Herzschrittmacherträger ist durch die schräggestreifte schwarz-gelbe Linie auf dem Boden gekennzeichnet, etwa 1,2m außerhalb der Anordnung.

FAZIT UND AUSBLICK

- Vollständig drahtlose S/A-Systeme in der Maschinenebene ermöglichen erhöhte Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit
- Drahtfreie, echtzeitfähige Systeme erfordern an die Kommunikation angepasste, spezielle Versorgungslösungen
- Induktive Energieübertragung derzeit am besten geeignet
- WISA-Schnittstelle ermöglicht störteste und zuverlässige Kommunikation für die Fabrikautomation
- drahtlose Sensor-/Aktorsysteme lassen sich wesentlich flexibler installieren, modifizieren oder später nachrüsten als konventionelle Produkte

- Ausblick:
 - Weiter sinkender Energiebedarf von Funkkomponenten und Elektronik
 - ☛ kleinere Baugrößen
 - drahtfreie Sensorverteiler

Drahtfreie Technologien haben im industriellen Umfeld eine Zukunft, wenn sie die hier gestellten Anforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit, Schnelligkeit und Robustheit erfüllen können. Zudem müssen sie sowohl Signale als auch Energie kabellos übertragen können. Und natürlich muss die drahtlose Technik in der jeweiligen Anwendung auch sinnvoll – sprich wirtschaftlich sein.

Hier ist es sinnvoll, wenn ein entsprechendes System skalierbar ist, wie im Beispiel des vorgestellten WISA-Konzeptes, bei dem jetzt die drahtgebundene und drahtlose Übertragung kombiniert werden können. Dies kann zukünftig auch mit dem drahtlosen Sensorverteiler realisiert werden. Befinden sich bspw. auf einer bewegten Achse mehrere Sensoren, so muss nicht jeder Sensor für sich drahtlos mit dem Empfangsgerät der Steuerung kommunizieren. Die Sensoren werden per Draht mit dem Sensorverteiler, der ebenfalls auf der Achse montiert ist, fest verkabelt. Die Kommunikation bzw. die Energiezufuhr geschieht über den Verteiler, der drahtlos in die Gesamtanlage integriert ist.

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Literaturverzeichnis:

- [1] ABB schließt Lücke im Feldbusmarkt. ABB Technik 1/2002, 30–34.
- [2] Apneseth, et al, Introducing wireless proximity switches, ABB Review, 4/2002.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics vol 74, no 4, 494–522, 1998.
- [4] Jan-Erik Frey, G.Scheible, A. Kreitz: „Unplugged but connected” ABB Review, 3 and 4/2005, pp.70-73, pp.65-68
- [5] Jürgen Weczerek: „Drahtlose Übertragung von Steuersignalen in der Automatisierung mittels Bluetooth” Wireless Technologies Kongress 2004, Mesago Sindelfingen, Germany 2004
- [6] 2008_Power_ohne_Draht_WISA_ABB.pdf
- [7] G. Scheible: Wireless energy autonomous systems: Industrial use? Sensoren und Messsysteme VDE/IEEE-Konferenz, Ludwigsburg, 11–12 März 2002.
- [8] VDI/VDE-Richtlinie: Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik; VDI/VDE 2185; Dezember 2003
- [9] Wireless-Vortrag_WISA-WPS_Sindelfingen_2004.pdf
- [10] W. Zimmermann: Kabel eliminiert (Cabling eliminated). Computer & Automation 10/2002 Mindelheim, Germany, Okt 2002.