

Test einer Bluetooth-Funkstrecke für die Prozessautomatisierung

Dipl.-Ing. Jana Krimmling, IHP GmbH, Frankfurt (Oder)

Dipl.-Ing. Matthias Mahlig, lesswire AG, Berlin

Dipl.-Inf. Steffen Peter, IHP GmbH, Frankfurt (Oder)

Test of a Bluetooth Transmission Path for Process Automation

Communication technology becomes more important in the field of process automation during the last years. The integration of smart radio based solutions into process automation systems is popular in research and industry. Here we present a Bluetooth based test track operating in a sewage treatment plant. Therefore, we developed novel hardware components based on Bluetooth communication with integrated microcontroller that can provide additional services, monitoring and local intelligence. The radio link quality is analyzed by comparison of the radio link with a conventional wired link used in parallel. The results are promising but room for improvement is identified.

Bluetooth, Wireless, Industrial Automation, Smart Sensors

1. Motivation

Die Bedeutung der Kommunikationstechnologie für die Prozessautomatisierung steigt in den letzten Jahren weiter an. Daher ist die Integration von intelligenten Funklösungen in bestehende Prozessautomatisierungssysteme ein hochaktuelles Thema in Forschung und Industrie. Im Rahmen des RealFlex-Projekts [1] untersuchen wir Möglichkeiten der Integration von Funktechnologien in Automatisierungssysteme. Ein Teil unserer Arbeit konzentriert sich dabei auf eine Bluetooth-Teststrecke in einem Klärwerk, die in Abschnitt 3 vorgestellt wird. Im Rahmen dieser Entwicklungsarbeit wurden von uns sowohl neue, auf Bluetooth basierende Hardwarekomponenten mit integrierten Mikrocontrollern entwickelt, als auch existierende Standardkomponenten untersucht. Es ist unser Ziel, sowohl die herkömmlichen drahtgebundenen Verbindungen durch Funk zu ersetzen, als auch die neue Intelligenz im System, die von den Funksendern und -empfängern mit integrierten Mikrocontrollern bereitgestellt wird, für die Integration weiterer Funktionen, wie beispielsweise Parametrisierungs- und Wartungsdienste zu nutzen.

Auf dem Markt befinden sich derzeit verschiedene Systeme zur Umsetzung von Feldbussen auf drahtlose Funktechnologien, welche als einfache transparente Funkbrücken innerhalb des Feldbusses von Automatisierungssystemen operieren. Teilweise mit EN-Tragschienen und externen Antennenanschlüssen ausgerüstet, können diese Konverter flexibel und einfach montiert werden. Damit ist es bereits möglich, den Aufwand für die Verkabelung von Automatisierungssystemen zu vermindern und die Installation an schwer erreichbaren Orten zu erleichtern. Dies kann wiederum die Gesamtkosten für die Installation reduzieren. Besonders die bisher übliche Anbindung von beweglichen Elementen über Schleifringe oder Schleppketten kann damit stark vereinfacht werden, was außerdem die hierfür anfallenden Wartungs- und Instandhaltungskosten reduziert. Die in Abschnitt 3 vorgestellte Bluetooth-Teststrecke in einem Klärwerk ersetzt ebenfalls eine solche Kontaktierung mittels Schleifringen. Dabei wurden zunächst existierende Bluetooth-Standardkomponenten eingesetzt. Im weiteren Verlauf der Arbeit sollen diese jedoch durch von uns neu entwickelte wireless IO-Link fähige Bluetooth-Komponenten ersetzt werden.

2. Bluetooth für Automatisierungssysteme

Die fortschreitende Miniaturisierung macht die Integration von intelligenten Bausteinen und Funkkomponenten in einen, wie in [2] beschriebenen und von uns angestrebten, drahtlos angeordneten intelligenten Sensor möglich. Ein solcher Sensor kann für die Automatisierungstechnik weitere Funktionen bieten, wie beispielsweise die in Abschnitt 1 angesprochenen Parametrisierungs- und Wartungsdienste, aber auch Schwellwertüberwachung und andere intelligente Dienste. Hierzu wurden von uns neue, auf Bluetooth basierende Hardwarekomponenten mit integrierten Mikrocontrollern entwickelt, die ebenfalls in Abschnitt 3 vorgestellt werden. Durch die Integration von Intelligenz und Funk in den Sensor könnte die Robustheit eines Automatisierungssystems, durch verschiedene in Abschnitt 3 beschriebene Maßnahmen verbessert werden.

Für unsere Arbeiten setzen wir auf das Bluetooth-Protokoll, da es weitestgehend alle Anforderungen an eine robuste Funktechnik in einem industriellen Umfeld erfüllt. Bluetooth ist ein offener, lizenzfreier Industriestandard und ermöglicht die drahtlose Übertragung zwischen Geräten über kurze und mittlere Strecken über das 2,4 GHz ISM-Band. Das im Bereich von 2,402 bis 2,480 GHz eingesetzte adaptive Frequenzsprungverfahren macht Bluetooth zu einer robusten Funktechnik, die wenig von anderen Funknetzen gestört wird [3]. Die 79 Übertragungskanäle zu je 1 MHz Bandbreite werden 1600 Mal pro Sekunde gewechselt (alle $625\mu\text{s}$), wobei eventuelle Frequenzen mit statischen Störungen (beispielsweise WLAN 802.11 b/g/n Netze) übergangen werden. Bluetooth kann also mit anderen Funknetzen im selben Funkgebiet parallel betrieben werden, wobei jedoch, abhängig vom Abstand zu anderen Funknetzen, Störungen bei statischen Funknetzen wie WLAN eintreten können [4]. Es werden sowohl Bluetooth Punkt-zu-Punkt Verbindungen, als auch Netzwerke mit maximal 256 Teilnehmern, wovon 8 gleichzeitig aktiv sein können, unterstützt. Die Datenübertragungsrate beträgt um 1 MBit/s, was für die industrielle IO-Kommunikation ausreichend ist. Die theoretisch kleinstmögliche Latenzzeit beträgt 1,28 ms, was einer Länge von zwei Übertragungsslots entspricht. Tatsächlich sind effektive durchschnittliche Latenzzeiten von < 10 ms erreichbar [5].

Klasse	Max. Sendeleistung	Ungefähre Reichweite im Freien
1	100 mW	100 m
2	2,5 mW	25 m
3	1 mW	10 m

Tabelle 1: Sendeleistungen von Bluetooth Geräten

Die Sendeleistung wird bei Bluetooth je nach Abstand der kommunizierenden Geräte automatisch reduziert. Das erfolgt unabhängig von der maximalen Sendeleistung der beteiligten Geräte. Diese Reduzierung des Sendebereichs spart Energie und verringert unnötige Störungen für andere Netzwerke im Funkgebiet. Es existieren verschiedene Sendeleistungsklassen für Bluetooth-Geräte. Die Reichweite beträgt bei Geräten der Klasse 1 um 100 m mit einer Rundstrahlantenne (siehe Tabelle 1). Weitere Entfernungen können durch die Erhöhung der Empfindlichkeit der Bluetooth-Geräte erzielt werden.

Zur Sicherung der Verbindung unterstützt Bluetooth ein dreistufiges Sicherheitsmodell. Je nach eingestellter Sicherheitsstufe wird eine 128 bit Verschlüsselung der Pakete vorgenommen.

3. Neue Lösungsansätze

Die offene Hauptfrage ist, wie sich das Ersetzen der drahtgebundenen Kommunikation durch Funk auf die Performance und die Qualität der Verbindung auswirkt. Dafür haben wir zunächst in einem Klärwerk eine Bluetooth-Funkstrecke parallel zu einer herkömmlichen Drahtkommunikation aufgebaut. Im Rahmen dieser Entwicklungsarbeit wurde eine Standard-Bluetooth-Komponente als Funkbrücke für eine Interbus-Verbindung getestet. Dieser Aufbau läuft seit Monaten stabil, selbst unter extremen Witterungsbedingungen. Die Teststrecke wird im folgenden Abschnitt 3.1. vorgestellt.

Ziel unserer Entwicklungen ist jedoch die Realisierung einer zu dieser Funkstrecke qualitativ gleichwertigen und wireless IO-Link fähigen Lösung, allerdings nicht nur als transparente Funkbrücke, sondern als direkte Sensoransteuerung mit digitaler Aufbereitung. Dabei wollen wir die Funkkomponenten in den Sensor integrieren. Für deren Realisierung wurden neue, auf Bluetooth basierende, Hardwarekomponenten von der lesswire AG [10] entwickelt, wobei eine Komponente als Profinet IO-Device und Funk-Master arbeitet und die andere als Sensorknoten mit entsprechender Sensorauswertung und Aktoransteuerung.

Beide Funkkomponenten sind mit ARM Mikrocontrollern ausgestattet und können somit die in Abschnitt 2 geforderten Funktionen, wie Parametrisierungs- und Wartungsdienste, Schwellwertüberwachung, aber auch weitere intelligente Dienste bereitstellen. Unter Verwendung dieser neu entwickelten Komponenten wurde ein Versuchsaufbau eingerichtet, der in Abschnitt 3.2. beschrieben und diskutiert wird.

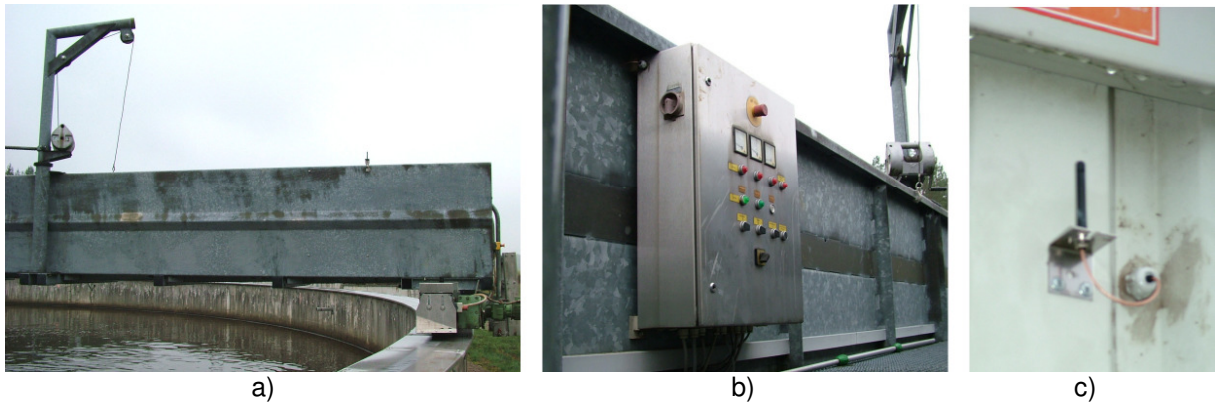


Bild 1: Bluetooth-Teststrecke im Klärwerk; a) Räumerverbecken; b) am Räumerverbecken befestigter Schaltschrank mit Bluetooth-Funkmodul; c) Bluetooth-Funkmodul am 50 m entfernten Gebäude; Quelle: Aucoteam GmbH [6]

3.1 Bluetooth-Teststrecke

Die Bluetooth-Teststrecke befindet sich an einem Räumerverbecken in einem Klärwerk. Die in Klärwerken befindlichen Räumerverbecken filtern groben Schmutz und Schlamm aus dem Wasser. Hierzu wird, wie in Bild 1 a) gezeigt, eine an einer Bühne befestigte Räumerverbecken-Vorrichtung durch ein Klärbecken bewegt. Die Datenverbindung der herkömmlichen Drahtkommunikation ist über Schleifringe ausgeführt. Diese Kontaktierung soll durch eine wireless IO-Link fähige Funkstrecke ersetzt werden.

Hierzu wurde zunächst eine Standard-Bluetooth-Funkbrücke an dem Räumerverbecken getestet. Bei den eingesetzten Komponenten handelt es sich um kommerziell verfügbare Produkte der Phoenix Contact GmbH [9]. Für den Aufbau der Bluetooth-Teststrecke wurde ein Schaltschrank mit einem Bluetooth-Funkmodul an der Räumerverbecken-Vorrichtung in Bild 1 b) montiert. Das Gegenstück der Funkbrücke befindet sich an einem 50 m weit entfernten Gebäude, von dem aus die Steuerung und Auswertung erfolgt. Das Bluetooth-Funkmodul am Gebäude ist in Bild 1 c) zu sehen. Diese Teststrecke läuft seit Monaten ununterbrochen und stabil. Da die Standard-Bluetooth-Funkbrücke durch eine wireless IO-Link fähige Verbindung ersetzt werden soll, wurde der im Folgenden beschriebene Versuchsaufbau eingerichtet.

3.2 Versuchsaufbau mit Funk-Master und Sensorknoten

Wie oben beschrieben, ist es unser Ziel, die Teststrecke im Klärwerk durch eine wireless IO-Link fähige Funklösung mit direkter Sensoransteuerung zu ersetzen. Diese Lösung soll an IO-Link angelehnt, jedoch drahtlos, funktionieren. Die hierzu neu entwickelten, auf Bluetooth basierenden, Hardwarekomponenten agieren als Profinet IO-Device und Funk-Master bzw. Sensorknoten. Der Funk-Master wird an den bestehenden Feldbus angeschlossen und setzt die Feldbuskommunikation für den Sensorknoten auf Bluetooth um. Am Sensorknoten mit integriertem Bluetooth-Modul werden dann die Sensoren bzw. Aktoren angeschlossen.

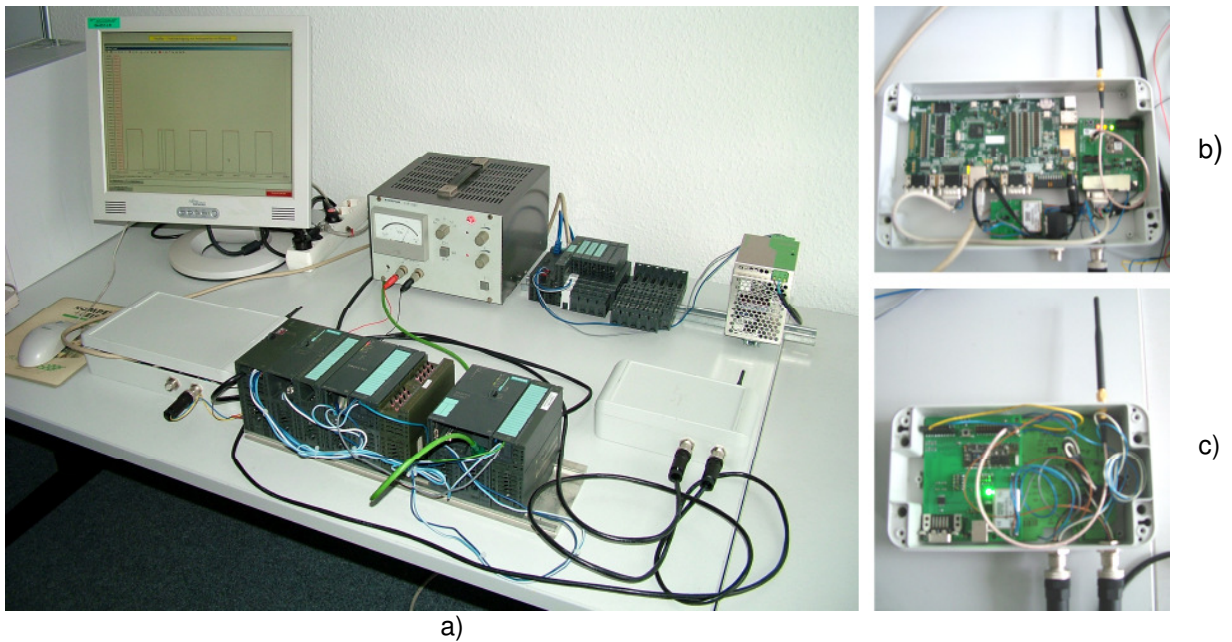


Bild 2: a) Versuchsaufbau mit den neu entwickelten Hardwarekomponenten; b) Profinet IO-Device bzw. Funk-Master und Bluetooth-Funkmodul; c) Sensorknoten mit Sensoransteuerung und D/A-Umsetzung; Quelle: Aucoteam GmbH [6]

Mit diesen Komponenten wurde zunächst der im Bild 2 a) zu sehende Versuchsaufbau eingerichtet. Hierbei werden durch eine SPS mit Analog-Output-Modul generierte Daten in Form einer Sägezahn- und einer Rechteckfunktion einmal über die Drahtstrecke und einmal per Funk über die neu entwickelten Hardwarekomponenten übertragen. Der Funk-Master befindet sich im Versuchsaufbau in dem weißen Gehäuse links im Bild 2 a), der Sensorknoten im weißen Gehäuse rechts im Bild 2 a). Das geöffnete Gehäuse des Funk-Masters ist in Bild 2 b) und das des Sensorknotens im Bild 2 c) zu sehen. Die Daten beider Strecken werden über einen Profinet-Switch durch eine zweite SPS erfasst und an einem PC mit WinCC graphisch dargestellt. Im Folgenden stellen wir die neu entwickelten Komponenten des Versuchsaufbaus im Detail vor.

3.2.1 Funk-Master

Das Profinet IO-Device bzw. den Funk-Master bildet ein Evaluation Board mit ARM 9 Mikrocontroller von Atmel, wie es im Bild 3 a) zu sehen ist. Hierauf läuft ein Linux-Kernel mit Echtzeiterweiterung. An das Board wurde ein ebenfalls kommerziell erhältlicher Bluetooth-Adapter der Klasse 1 der lesswire AG [10] über die USB-Schnittstelle angeschlossen. Der Adapter ist somit flexibel platzierbar, ebenso die Antenne des Adapters, welche wahlweise direkt am Adapter, so wie im Bild 3 b) zu sehen, oder über eine SMA-Verlängerung, wie in Bild 2 c) zu sehen, angebracht werden kann.

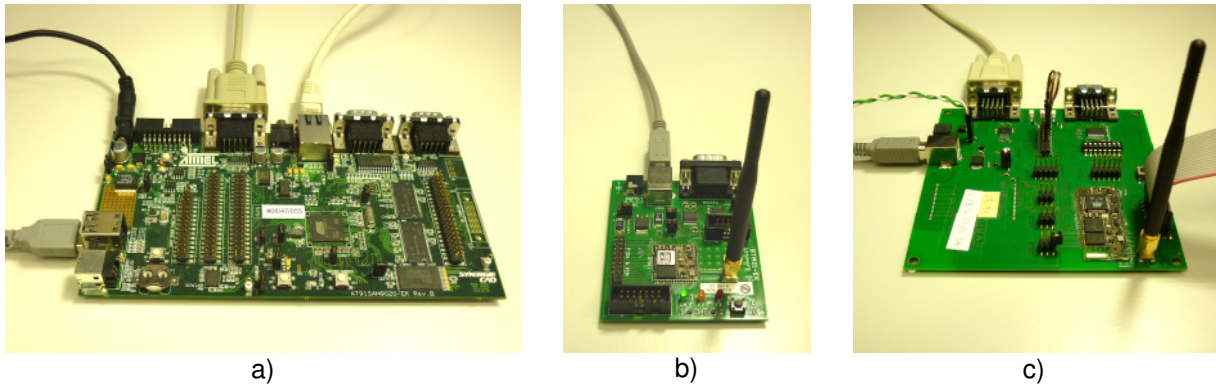


Bild 3: Bluetooth-Komponenten; a) Profinet IO-Device und Funk-Master; b) Bluetooth-Funkmodul; c) Sensorknoten mit Sensoransteuerung und D/A-Umsetzung

3.2.2 Sensorknoten

Das von lesswire AG [10] entwickelte Sensorboard mit onboard Bluetooth-Modul und einem ARM 7 Mikrocontroller, läuft mit dem portablen kleinen Echtzeitkernel FreeRTOS [11]. FreeRTOS wird vielfach als Betriebssystem für die Cross-Platform Entwicklung von embedded Geräten eingesetzt. Das Sensorboard ist in Bild 3 c) zu sehen. Dieses bildet den Sensorknoten mit Sensoransteuerung, D/A- und A/D-Umsetzung. Die Stromversorgung erfolgt wahlweise über USB oder eine externe Spannung. Auch hier kann die Antenne mit einer Antennenverlängerung versehen werden.

Da die Sensoren bzw. Aktoren an das Sensorboard angeschlossen werden, bildet dieses die mögliche Schnittstelle der zu implementierenden intelligenten Dienste. Die Robustheit von Automatisierungssystemen könnte durch die Integration von lokaler Intelligenz, welche durch die Mikrocontroller möglich wird, erhöht werden. Beispielsweise könnte durch Selbstdiagnose und intelligente Entscheidungen im Sensor der Bus entlastet werden, wenn nur in systemkritischen Fällen eine Meldung an die zentrale Steuerungseinheit erfolgen muss. Im Falle einer Funkverbindung würde somit der Funkkanal entlastet werden. Auch bei einem kurzzeitigen Abriss oder einer Störung der Funkverbindung könnte ein intelligent agierender Sensor diese besser überbrücken, da nicht notwendigerweise Meldungen an die zentrale Steuerungseinheit gesendet werden müssen. Dies kann auch zur Vermeidung von unnötigen Abschaltungen des Systems genutzt werden. Ebenso könnte eine Verbesserung der Reaktionszeit des Netzwerks erzielt werden, wenn der Sensor lokale Entscheidungen treffen kann.

4. Versuchsergebnisse

Die mit den Standard-Bluetooth-Komponenten aufgebaute Teststrecke im Klärwerk verrichtet ihren Dienst, wie zu erwarten war, seit Monaten ununterbrochen ohne Ausfall. Die Verbindung ist stabil, selbst unter extremen äußeren Witterungsbedingungen.

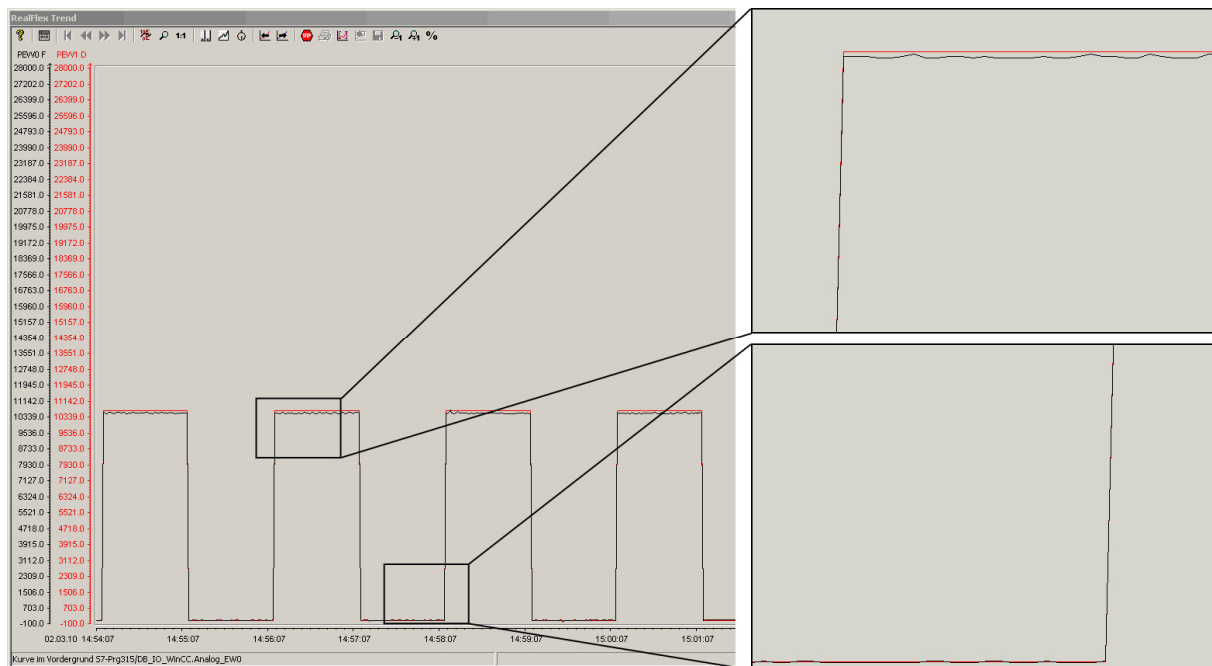


Bild 4: Vergleich der Signale von Draht- und Funkkommunikation

Der Versuchsaufbau mit den neu entwickelten Bluetooth-Komponenten ist generell funktionstüchtig. Im Bild 4 sind von einem ersten Funktionstest erfasste Signale der Drahtstrecke und der Funkstrecke im Vergleich zu sehen. Sowohl mit Sägezahn- als auch mit Rechteckeingangssignal zeigen sich nur geringe Abweichungen der erfassten Signale nach der Funkübertragungstrecke gegenüber den nach der Drahtstrecke erfassten Signalen.

Im nächsten Schritt können nun intelligente Dienste, wie Schwellwertüberwachung, Parametrisierungs- und Wartungsdienste und weitere Funktionen integriert werden. Hierzu gehören unter anderem Diagnosefunktionen, Statusüberwachung, sowie die Unterstützung der an das IO-Link Konzept angelehnten wireless IO-Funktionen, wie beispielsweise der Parametertausch über das IO Link Protokoll. Langfristig sollen die in der Bluetooth-Teststrecke verwendeten Standard-Bluetooth-Komponenten durch die wireless IO-Link fähigen Komponenten auf Bluetooth-Basis von lesswire AG [10] ersetzt werden.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit dem Versuchsaufbau haben wir ein objektives Mittel, um die Qualität einer Funkstrecke für Automatisierungssysteme nachvollziehbar zu charakterisieren und auch den Fortschritt in der Entwicklung zu dokumentieren. Für unsere aktuellen Komponenten können wir bereits Verbesserungspotentiale identifizieren.

Die angestrebte Integration der Funkkomponenten in einen direkt hierüber angesteuerten Sensor und die Nutzung intelligenter Dienste im Sensor führt voraussichtlich zu einer geringeren Abhängigkeit gegenüber anderen Komponenten eines Automatisierungssystems. Die Anwendung von intelligenten Diensten könnte

dabei, wie in Abschnitt 3 beschrieben, zu einer Verbesserung der Robustheit eines Automatisierungssystems beitragen. Ein solcher Sensor wäre sehr flexibel einsetzbar. Durch die Einsparung von Verkabelung werden sowohl die Kosten reduziert als auch die Installation erleichtert.

Die genannten Beispiele zeigen, dass das System somit unempfindlicher gegenüber unerwünschten Einflussgrößen und Schwankungen der Umgebungsbedingungen arbeiten könnte.

6. Literatur

- [1] RealFlex Consortium: RealFlex, integration of reliable wireless communication systems within sensor / actuator networking in automation systems. Siehe: <http://www.realflex-projekt.de/>, Stand vom 27.09.2010.
- [2] B. Spencer; M. Ruiz-Sandoval; N. Kurata: Smart Sensing Technology: Opportunities and Challenges. In: Structural Control and Health Monitoring. Volume 11, Issue 4, pages 349–368, 2004.
- [3] M: Höing; K. Helmig; U. Meier: Untersuchungen zur Störfestigkeit und Übertragungssicherheit der Bluetooth Technologie am Beispiel eines industriellen Sensor-Aktor-Systems. Wireless Kongress (2006).
- [4] A. K. Arumugam; A. Doufexi; A. R. Nix; P.N. Fletcher: An Investigation of the Coexistence of 802.11g WLAN and High Data Rate Bluetooth Enabled Consumer Electronic Devices in Indoor Home and Office Environments. In IEEE Transactions on Consumer Electronics. Volume 49, Issue 3, pages 587–596, 2003.
- [5] L. A. Castro de Almeida; C. A. dos Reis Filho: Latency evaluation in a Bluetooth-CAN dual media sensor network. In: IEEE International Conference on Industrial Technology. Pages 247-251, 2010.
- [6] Aucoteam GmbH, siehe <http://www.aucoteam.de/>, Stand vom 01.09.2010.
- [7] K. Finistere; T. Zoller: All your Bluetooth is belong to us. Link zum Archiv: http://archive.hack.lu/2006/Zoller_hack_lu_2006.pdf, Stand vom 27.09.2010. Hack.lu, Luxembourg-Dommeldange, 2006.
- [8] R. Berndorfer: Sicherheitsrisiken beim Einsatz der Bluetooth-Technologie (2004). Siehe <http://www.berndorfer.net/files/Bluetooth.pdf>, Stand 02.09.2010.
- [9] Phoenix Contact GmbH, siehe <http://www.phoenixcontact.de/index.htm>, Stand 06.09.2010.
- [10] lesswire AG, siehe <http://www.lesswire.com/>, Stand 01.09.2010.
- [11] The FreeRTOS Project, <http://www.freertos.org/>, Stand 02.09.2010.