

Forschungsprojekt

Funkübertragung in Feldbussystemen

Zuwendungsempfänger: Fachhochschule Lippe

Förderkennzeichen: 1708599

Laufzeit: 01.09.1999 - 30.04.2001

Schlussbericht

(Sachbericht des Verwendungsnachweises nach Nr. 6 ANBest-P/GK)

Berichtszeitraum: 01.09.1999 - 30.04.2001

Prof. Dr.-Ing. Uwe Meier
Lemgo, 29.10.2001

Prof. Dr.-Ing. Uwe Meier
Fachhochschule Lippe
Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
Liebigstrasse 87
D-32657 Lemgo

umeier@cc.fh-lippe.de
<http://www.fh-lippe.de>

Kurzfassung

Funkübertragung in Feldbussystemen

Zuwendungsempfänger: Fachhochschule Lippe; Förderkennzeichen: 1708599; Laufzeit: 01.09.1999 - 30.04.2001

Neben der Kommunikation mit stationären Komponenten ist in der Automatisierungstechnik zunehmend auch die Kommunikation mit portablen oder mobilen Komponenten gefragt.

Für den Profibus und Interbus sind jeweils mögliche Konzepte der Funkübertragung untersucht worden. Topologisch können zwei Fälle unterschieden werden: die drahtlose Teilnehmeranbindung über ein Gateway und die transparente Brücke als Repeater. Für den Interbus sind beide Varianten als Demonstrationssystem mit kommerziell verfügbaren Funklösungen realisiert worden. Für die Gateway-Lösung wurde ein Funksystem nach dem DECT-Standard eingesetzt, für die Repeater-Lösung ein Funksystem des Standards IEEE 802.11b. Um die Vorteile der funkgestützten Interbus-Technik nicht nur spezialisierten Fachvertretern demonstrieren zu können, ist außerdem ein transportables Regalbediengerät aufgebaut worden, das über eine transparente Interbus-Brücke gesteuert wird.

Mit den im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Arbeiten konnte erfolgreich gezeigt werden, dass kommerziell verfügbare Funkprodukte geeignet sind, als drahtlose Ergänzung in Feldbussystemen eingesetzt zu werden.

Industriepartner: Firma Phoenix Contact, Blomberg

Industriepartner: Firma Lenze, Bösingfeld

Veröffentlichungen

- 1) T. Heil, A. Brand, U. Meier: *Funkübertragung in Feldbussystemen - Erprobungstests in industrieller Umgebung*, Elektronik 26, 1998, 58 - 61
 - 2) J. Konopka, D. Fischer, J. Körtner, U. Meier, M. Peter: *Drahtloser Interbus über DECT - Nutzung digitaler Funksysteme in der Automatisierungstechnik*, Elektronik 19, 1999, 85 - 89
 - 3) K. Olthoff, M. Peter, P. Walther, U. Meier: *Drahtlos glücklich - Echtzeitfähige Funkübertragungssysteme für Feldbusse eignen sich schon heute für den industriellen Einsatz*, Elektronik 24, 2000, 70 - 77
 - 4) K. Hanning, K. Olthoff, K.-H. Weber, A. Tegtmeier, U. Meier: *Freie Kurvengänger – Der funkgesteuerte Zugriff ins Hochregallager*, Elektronik 24, 2000, 78 - 79
 - 5) U. Meier, K. Olthoff: *Echtzeitfähige Funkübertragung beim Interbus*, VDI-Berichte 1608; VDI Verlag GmbH; Düsseldorf 2001; 829 - 836
-

Vorträge

- 1) U. Meier: Okt. 1999, Fachsymposium Digades GmbH "Drahtlose Kommunikation - eine innovative Lösung", Zittau: *Vergleichende Betrachtung zum Einsatz von Funksystemen in industriellen Anwendungen*
 - 2) K. Olthoff: Mai 2000, Fachsymposium Digades GmbH "Drahtlose Kommunikation - eine innovative Lösung", Zittau: *Funkübertragung in Feldbussystemen auf DECT-Basis*
 - 3) U. Meier, K. Olthoff: Mai 2001, GMA-Kongress "Mess- und Automatisierungstechnik im Spannungsfeld neuer Technologien", Baden-Baden, *Echtzeitfähige Funkübertragung beim Interbus*
-

Inhalt

Kurzfassung

1	Aufgabenstellung	4
2	Voraussetzungen	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
4	Stand der Technik.....	5
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
6	Ergebnisse	6
6.1	Profibus und Interbus im Vergleich.....	6
6.1.1	Anschlussstopologie.....	6
6.1.2	Drahtlose Teilnehmeranbindung über Gateways.....	7
6.1.3	Transparente Brücke mit Repeater	8
6.1.4	Geeignete Funksysteme	9
6.2	Aufbau und Erprobung eines Demonstrationssystems	10
6.2.1	Drahtlose Teilnehmeranbindung zur Übertragung von Parameterdaten beim Interbus	10
6.2.2	Transparente Funkbrücke beim Interbus	13
6.2.3	Drahtlose Hochregallagersteuerung.....	16
6.3	Zusammenfassung der technischen Ergebnisse.....	17
7	Verwertbarkeit der Ergebnisse	17
8	Technischer Fortschritt bei anderen Stellen	17
9	Veröffentlichungen	18
10	Verwendete Abkürzungen	19

1 Aufgabenstellung

Der Trend zu dezentralen Strukturen in der Automatisierungstechnik verstärkt die örtliche Verteilung der Komponenten. Für den Austausch der benötigten Prozessdaten werden überwiegend serielle Feldbusse eingesetzt, welche mit Kupfer-Zweidrahtleitungen oder mit Glasfasern aufgebaut sind.

Neben der Kommunikation mit stationären Komponenten ist zunehmend auch die Kommunikation mit portablen (gelegentlicher Ortswechsel) oder mobilen (ständiger Ortswechsel) Komponenten gefragt. Typische Anwendungen sind führerlose Transportsysteme in der Lagerverwaltung oder mobile Arbeitsplattformen in der Fertigung. Dafür wurden bisher Signalübertragungen über Schleifkontakte oder in Ausnahmefällen über drahtlose Infrarotverbindungen gewählt. Doch Schleifkontakte werden wegen des Verschleißes und der möglichen Funkenbildung nach Möglichkeit vermieden. Infrarotverbindungen erfordern eine Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger. Außerdem ist diese Übertragungsart empfindlich gegenüber Staub und Verschmutzung.

Aus diesem Grund ist der Einsatz der Funktechnik in Feldbussystemen vielversprechend. Doch kommerzielle Funksysteme und Feldbussysteme der Automatisierungstechnik schlossen sich bisher weitestgehend aus, denn die Anforderungen bezüglich einer sicheren und zeitkritischen Datenübertragung waren sehr hoch.

Ziel des Vorhabens war es, für den Profibus und Interbus jeweils mögliche Konzepte der Funkübertragung zu untersuchen und durch geeignete Demonstrationssysteme zu verifizieren.

2 Voraussetzungen

Das Vorhaben wurde im Labor für Hochfrequenztechnik des Fachbereiches Elektrotechnik und Informationstechnik an der Fachhochschule Lippe in Lemgo durchgeführt. Der Fachbereich bietet den Studiengang Elektrotechnik mit den Studienrichtungen Kommunikationstechnik und Automatisierungstechnik an und verfügt über zahlreiche Industriekontakte, insbesondere zu Firmen im Bereich Ostwestfalen-Lippe. Das Labor Hochfrequenztechnik beschäftigt sich mit drahtlosen- und drahtgebundenen Kommunikationssystemen. Die leistungsfähige Laborausstattung ermöglicht intensive Industriekooperationen.

An Personal standen für dieses Vorhaben zur Verfügung:

- Prof. Dr.-Ing. Uwe Meier; Projektleitung; Teilzeit 15 %
- Dipl.-Ing. Kai Olthoff; wissenschaftlicher Mitarbeiter; 01.05.2000 - 30.04.2001
- Dipl.-Ing. Rainer Günther; Laboringenieur; ab 01.01.2001; Teilzeit 15 %
- Dipl.-Ing. Kai Hanning; Werkvertrag; 01.05.2000 - 30.06.2000
- Dipl.-Ing. Josef Winkler; Werkvertrag; 01.05.2000 - 30.06.2000
- Dipl.-Ing. Stefan Vothknecht; Werkvertrag; 16.11.1999 - 15.12.1999
- Stud.-Ing. Richard Kuchcinski; studentische Hilfskraft; 8 h/Woche im Sommersemester 2000 und Wintersemester 2000/01

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde in Arbeitspakete organisiert, deren Hauptebene nachfolgend kurz beschrieben wird:

AP 1: Profibus und Interbus im Vergleich

1.09.1999 - 28.02.2000

Hier wurde eine vergleichende Betrachtung zum Einsatz der Funktechnologie beim Profibus und Interbus vorgenommen. Untersucht wurden insbesondere die Anschlussstopologie und geeignete kommerzielle Funkssysteme.

AP 2: Aufbau und Erprobung eines Demonstrationssystems

1.03.2000 - 30.04.2001

Die in AP1 erarbeiteten Konzepte wurden für den Interbus zu einem Demonstrationssystem aufgebaut und Erprobungstests unterzogen.

4 Stand der Technik

Drahtlose Datennetze oder drahtlose Teilstücke leitungsgebundener Datennetze sind in vielen Anwendungsbereichen mittlerweile unverzichtbar. Bei der Bürokommunikation zwischen Computern werden die lokalen Netze (LAN: local area networks) um Funkstrecken erweitert (WLAN: wireless LAN). Grundlage dafür ist der Standard IEEE 802.11. Auch der schnurlose Telefonstandard DECT (digital enhanced cordless telecommunications) wird zunehmend für Datenübertragungen eingesetzt. Für die drahtlose Anbindung von Peripheriegeräten über kurze Strecken (PAN: pico area networks) sind die Funkstandards Bluetooth und HomeRF = SWAP (shared wireless access profile) geschaffen.

Doch diese Beispiele zeigen, dass derartige Funkssysteme lediglich für Anwendungen im Bürobereich oder im Konsumbereich entwickelt worden sind. Sie eignen sich zunächst nicht für den Einsatz in industriellen Feldbussystemen.

Für Anwendungen in der Automatisierungstechnik auf Feldbusbasis gab es zum Zeitpunkt des Projektstarts daher keine kommerziellen Produkte.

Doch da die oben erwähnten Funkssysteme auf der Luftschnittstelle Bitraten im Bereich 1...11 Mbit/s aufweisen, könnten sie prinzipiell für die meisten Feldbusanwendungen eingesetzt werden. Dafür erforderlich war eine Anpassung der nicht deterministischen Übertragungszeit von 5...50 ms, weil bei der Verarbeitung und Übertragung von Prozessdaten der Automatisierungstechnik lediglich kleine Datenpakete anfallen, die in kurzen Abständen von 1...2 ms ständig aktualisiert werden müssen. Dafür sind bisherige Funkssysteme nicht ausgelegt.

Aus diesen Gründen bestand ein aktueller Forschungs- und Entwicklungsbedarf in der Adaption kommerziell verfügbarer Funktechnologien an vorhandene industrielle Feldbussysteme.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Als Kooperationspartner standen die Firmen Phoenix Contact aus Blomberg und Lenze aus Bösingfeld zur Verfügung. Deren Entfernung zur Fachhochschule Lippe in Lemgo beträgt jeweils etwa 20 km.

Phoenix Contact (www.phoenixcontact.de) entwickelt, produziert und vermarktet ein breites Produktspektrum von Komponenten für die Elektro- und Automatisierungstechnik und gehört mit ca. 5000 Beschäftigten zu den weltweiten Marktführern elektronischer Interface- und industrieller Automatisierungstechnik. Ein Schwerpunkt sind Feldbuskomponenten auf Basis von Interbus.

Lenze (www.lenze.de) ist eine international operierende Unternehmensgruppe mit mehr als 50 Jahren Erfahrung auf dem Gebiet der Antriebstechnik. Mit ca. 3000 Beschäftigten zählt Lenze zu den führenden Anbietern von Antriebstechnik und Automation.

Phoenix Contact unterstützte dieses Vorhaben durch eine zeitlich befristete Finanzierung eines Mitarbeiters im Vorfeld und durch die kostenlose Bereitstellung von Feldbuskomponenten. Außerdem nahmen Mitarbeiter von Phoenix Contact regelmäßig an Entwicklungsbesprechungen teil und bereicherten diese durch konstruktive Anregungen.

Firma Lenze begleitete Teilstrecken dieses Projektes mit dem Interesse nach innovativen Lösungen der Antriebstechnik und stellte Motoren und Frequenzumrichter für ein Demonstrationssystem kostenlos zur Verfügung.

6 Ergebnisse

6.1 Profibus und Interbus im Vergleich

6.1.1 Anschlusslogik

Interbus und Profibus-DP sind die Marktführer der Feldbustechnologie auf der Sensor/Aktor-Ebene. Daher beschränkt sich dieses Forschungsvorhaben auf diese beiden Bustechnologien.

Charakteristisch für die Datenübertragung sind kleine Datenpakete, die in kurzen äquidistanten Zeitabständen (ms-Bereich) erneuert werden. Hierbei handelt es sich um die Übertragung zyklischer Prozessdaten für echtzeitkritische Anwendungen. Beide Busarten ermöglichen zusätzlich auch die Übertragung azyklischer Parameterdaten (Interbus: PCP; Profibus: FMS), für Programmierungs- und Diagnosefunktionen.

Für die Funkübertragung relevante Unterschiede seien im Folgenden aufgeführt.

Bustopologie: Beim Interbus handelt es sich um eine Ringtopologie, bei der jedoch Hin- und Rückleiter durch jeden Busteilnehmer geführt werden. Damit ergibt sich das Anschlussbild einer Linien-Busstruktur, mit einem bidirektionalen Datenfluss auf zwei getrennten Leiterpaaren. Beim Profibus liegt physikalisch eine Linien-Busstruktur vor, wobei der bidirektionale Datenfluss auf lediglich einem Leiterpaar stattfindet.

Buszugriff: Interbus ist ein Mono-Master-System, wobei die Slave-Teilnehmer über ein Summenrahmenprotokoll angesprochen werden. Profibus hingegen ist ein Multi-Master-System, wobei die Master-Zugriffsrechte über ein Token-Passing gesteuert sind. Die Master-Slave-Kommunikation erfolgt im Polling-Betrieb. Alle Teilnehmer "hören" Anfragen des einzigen aktiven Masters, ein Slave antwortet nur bei Aufforderung.

Bitrate: Die momentane Bitrate beim Interbus beträgt 500 kbit/s. Beim Profibus sind verschiedene Bitraten von 9,6 kbit/s bis 12 Mbit/s wählbar.

Trotz dieser Unterschiede bestehen beim Einsatz von Funksystemen viele Gemeinsamkeiten. Die Bilder 1 und 2 zeigen die sinnvollen Möglichkeiten:

- drahtlose Teilnehmeranbindung über Gateways;
- transparente Brücke mit Repeater.

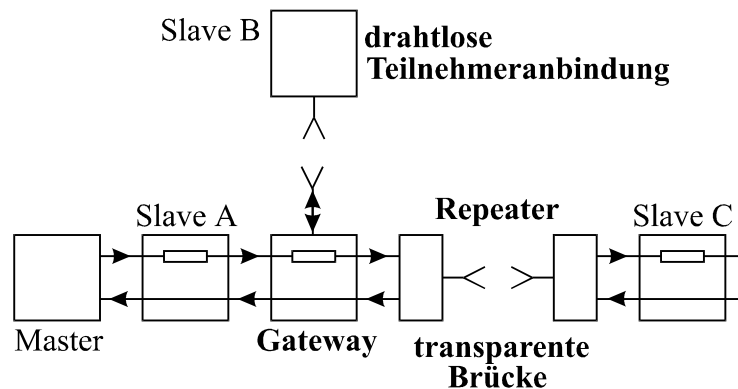


Bild 1 Funktopologie beim Interbus

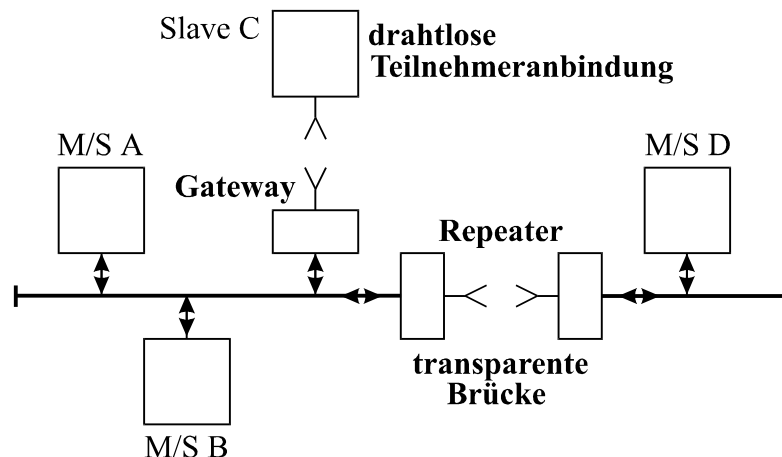


Bild 2 Funktopologie beim Profibus (M/S: Master/Slave)

6.1.2 Drahtlose Teilnehmeranbindung über Gateways

Hierbei werden einzelne Teilnehmer über ein Gateway drahtlos angebunden. Das Gateway koppelt lediglich die Nutzdaten aus, wobei sowohl Prozess- als auch Parameterdaten verwendet werden können. Es handelt sich hierbei um eine Schicht-7-Kommunikation. Die Feldbusprotokolle werden *nicht* über die Funkstrecke übertragen.

Neben der Punkt-zu-Punkt-Kommunikation zu einem Teilnehmer (Bilder 1, 2) ist auch eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation möglich, wenn das Gateway die Nutzdaten mehrerer Teilnehmer auskoppelt. Das Gateway ist in diesem Fall mit der Funk-Basisstation (BS) verbunden (Bild 3a).

Es ist außerdem ein mehrzellulares Netz aufbaubar. In diesem Fall ist das Gateway mit einem Basis-Stationen-Controller (BSC) verbunden, der die Kommunikation mit den verschiedenen Basis-Stationen übernimmt (Bild 3b).

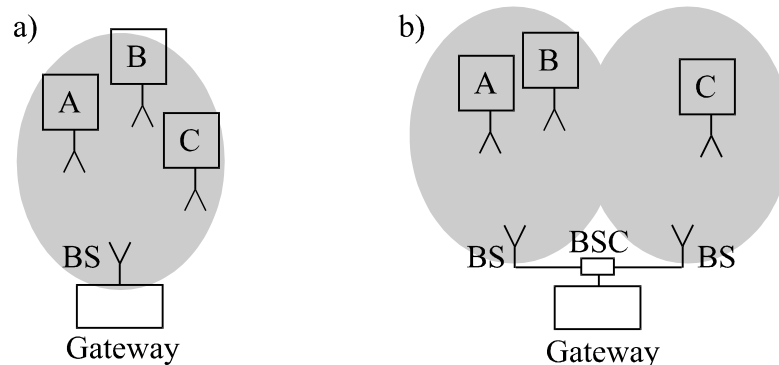


Bild 3 a) Punkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation; b) Mehrzellulares Netz

Aus der Sicht des Funksystems bestehen keine Unterschiede bezüglich des eingesetzten Feldbusses. Diese bestehen lediglich beim Gateway.

Die Nettodatenrate der Funksysteme muss größer als die Nutzdatenrate des Gateways sein. Das Zeitverhalten der Funksysteme ist lediglich bei der Übertragung von Prozessdaten wichtig.

Ein sinnvolles Einsatzgebiet ist die drahtlose Überwachung von Feldbusanlagen, wenn über ein Gateway Parameterdaten ausgekoppelt werden und zu mobilen Ein-/Ausgabeeinheiten übertragen werden.

6.1.3 Transparente Brücke mit Repeater

Hierbei werden die Feldbusprotokolle über die Funkstrecke übertragen; es handelt sich also um eine Schicht-1-Kommunikation. Das Funksystem ist somit an den jeweiligen Feldbus zu adaptieren. Es ist eine Anpassung bezüglich Bitrate und Protokoll notwendig. Somit bestehen deutliche Unterschiede aus der Sicht des Funksystems. Zusätzlich bestehen wesentliche Unterschiede in der Topologie.

Beim Interbus ist lediglich eine Punkt-zu-Punkt-Topologie möglich. Kommt es zu Störungen auf der Funkstrecke, z.B. durch Reichweitenüberschreitung, ist der gesamte Nachrichtenverkehr unterbrochen. Ein mehrzellulares Netz ist nicht möglich.

Beim Profibus sind Störungen auf der Funkstrecke nicht so kritisch, falls lediglich Slave-Teilnehmer zeitweise abgetrennt sind. Außerdem ist beim Profibus die transparente Brücke als Punkt-zu-Mehrpunkt-Konfiguration aufbaubar, verbunden mit der möglichen Erweiterung zum mehrzellularen System.

Bei den Funksystemen ist das Zeitverhalten zu kontrollieren. Damit sind keine ARQ-Datensicherungen zulässig. Auch der Zugriff auf die Luftschnittstelle muss deterministisch erfolgen. Daher scheidet z.B. das bei drahtlosen Ethernet-Netzen verwendete - und damit weit verbreitete - Verfahren IEEE 802.11 aus.

Die Nettodatenrate des Funksystems muss beim Interbus größer als die Bitrate des Interbus sein. Diese beträgt zur Zeit 500 kbit/s. Beim Profibus kann die Nettodatenrate des Funksystems geringer als die Bitrate des Profibus sein, da zwischen den Telegrammen Pausen vorliegen.

Beim Interbus besteht die Möglichkeit, ein im Zeit-Duplex oder Frequenz-Duplex arbeitendes Funksystem zu verwenden. Beim Profibus ist Zeit-Duplex sinnvoll, weil lediglich eine Übertragungsrichtung zu einer Zeit benötigt wird.

6.1.4 Geeignete Funksysteme

Geeignete Funksysteme werden durch folgende Randbedingungen bestimmt:

- Es werden lediglich kommerziell verfügbare Systeme betrachtet. Bevorzugt werden Systeme, die auch im Konsumerbereich zum Einsatz kommen. Dadurch lassen sich hohe Stückzahlen und damit niedrige Preise erwarten. Funksysteme, die ausschließlich für Anwendungen der Automatisierungstechnik konzipiert wären, ließen sich kaum kostengünstig fertigen.
- Es sind störresistente Modulationsverfahren zu verwenden. Geeignet sind Bandspreiztechniken, Schmalbandssysteme mit Kanalwechsel und Mehrträgerverfahren. Dadurch kann der negative Einfluss von diskreten Störquellen und von Mehrwegekanälen ausgeblendet werden.
- Datensicherungsverfahren (FEC: forward error correction; ARQ: automatic repeat request) sollen - soweit zulässig - implementiert sein.
- Abhängig von der Feldbusanbindung über Gateways oder als Repeater muss der Zugriff auf die Luftschnittstelle gegebenenfalls deterministisch erfolgen.

Kommerziell verfügbare Systeme können Tab. 1 entnommen werden.

Tabelle 1 Kommerzielle Funksysteme

Name	Frequenz	Modulation	Bitrate Luftschnittstelle (simplex)	Datenrate pro Kanal (duplex)	Datensicherung
DECT	1,88 - 1,90 GHz	GFSK	1,152 Mbit/s	25,6; 64 ... kbit/s	ARQ
IEEE 802.11	2,40 - 2,48 GHz	DS/FH-SS	1 - 2 Mbit/s	< 0,5 - 1 Mbit/s	ARQ
High speed WLAN	2,40 - 2,48 GHz	DS/FH-SS	11 Mbit/s	< 5 Mbit/s	ARQ
HIPERLAN	5,15 - 5,30 GHz	DS/FH-SS	23,5 Mbit/s	< 12 Mbit/s	FEC
Bluetooth	2,40 - 2,48 GHz	FH-SS	1 - 2 Mbit/s	460,8 kbit/s	FEC/ARQ
SWAP	2,40 - 2,48 GHz	FH-SS	1 - 2 Mbit/s	< 0,5 - 1 Mbit/s	?

Für den Repeater-Einsatz ist das Zeitverhalten der Funksysteme zu kontrollieren. Dies wird bestimmt durch den Zugriff auf die Luftschnittstelle und das Datensicherungsverfahren.

- Zugriff auf die Luftschnittstelle: Bei einigen Systemen (DECT) erfolgt ein Kanalwechsel nach vorheriger Abfrage der Empfangsfeldstärke (RSS: received signal strength). DECT scheidet damit aus. Auch das Verfahren nach IEEE 802.11 scheidet aus, da CSMA/CA (carrier sense multiple access / collision avoidance) zeitlich nicht deterministisch arbeitet.
- ARQ-Datensicherungsverfahren sind unzulässig, weil die Übertragungszeit nicht deterministisch ist.

Damit sind die MAC-Schichten der aufgelisteten Bandspreizsysteme (SS: spread spectrum) nicht zu verwenden. Verwendbar sind lediglich deren HF-Module einschließlich des Basisbandprozessors.

Datenübertragungen im Paket-Modus oder Continuous-Mode sind möglich. Der Continuous-Mode ist schneller aber störepfindlicher.

6.2 Aufbau und Erprobung eines Demonstrationssystems

Da im Rahmen dieses Forschungsvorhabens aus Zeit- und Kostengründen nicht alle denkbaren Lösungen verfolgt werden konnten, ist das Demonstrationssystem lediglich auf Interbus-Basis aufgebaut worden. Die Entscheidung für den Interbus-Standard ergab sich durch die enge Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner Phoenix Contact, der die benötigten Interbus-Komponenten im Rahmen dieses Vorhabens großzügig bereitstellte.

Es sei jedoch betont, dass die hierbei erarbeiteten Lösungen grundsätzlich auch für Profibus geeignet sind, jedoch im Einzelnen speziell adaptiert werden müssen.

6.2.1 Drahtlose Teilnehmeranbindung zur Übertragung von Parameterdaten beim Interbus

Bild 4 zeigt das Prinzip des aufzubauenden Systems. Als Funksystem ist DECT von der Firma Digades gewählt. Es bestehen keine Echtzeitanforderungen an das Funksystem. Mit diesem Demonstrationssystem können die Anwendungen "Bus-Kopplung" und "mobiles Terminal" realisiert werden.

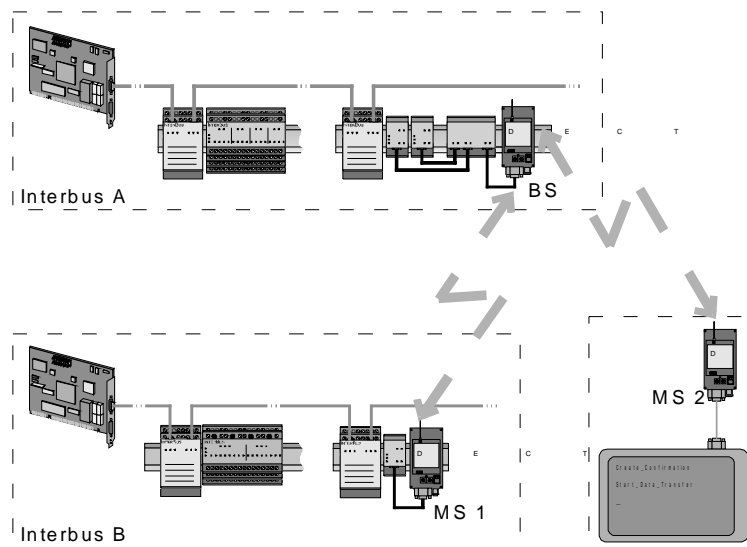


Bild 4 Bus-Kopplung und mobiles Terminal mit einem DECT-System

Bus-Kopplung

Bei Erweiterung einer Produktionsstätte (Interbus A) um ein weiteres autonomes System (Interbus B) kann dieses vom bestehenden System über die Funkstrecke mit Programmen und Software-Updates versorgt werden.

An leitlinienlose Transportsysteme, die über eine autonome Steuerung verfügen, müssen lediglich Fahrkoordinaten und eventuelle Software-Updates übermittelt werden. Auf großen

Flächen spielt DECT dabei seine Vorteile aus: durch ein mehrzellulares Funknetz sind die Fahrzeuge überall erreichbar.

Mobiles Terminal

In der Lagerhaltung und in der Produktion wird durch die mobile Datenerfassung die Beweglichkeit des Personals ermöglicht. Ohne die Daten z.B. in einem Barcode-Scanner zwischenspeichern zu müssen, können diese online auf das Zielsystem überspielt werden.

Das mobile Terminal kann dazu genutzt werden, Daten über die Konfiguration des Interbus-Systems oder einzelner Teilnehmer zu erfassen. Bei ausgedehnten Anlagen kann auf Parameter in der unmittelbaren Nähe der Feldgeräte zugegriffen werden.

Bild 5 zeigt ein Foto des realisierten Demonstrationssystems. Eine Funk-Basisstation BS greift über ein modulares Gateway auf den Parameterkanal von Interbus A zu, dessen Daten adressiert zu einer der beiden mobilen Funkstationen übertragen werden. Mobilstation MS 1 koppelt die Daten in den Parameterkanal von Interbus B ein, Mobilstation MS 2 hingegen ist an einen Laptop als Ein-/Ausgabeeinheit angebunden. Auf diese Weise lassen sich Kommunikationsdienste zwischen verschiedenen Bussen drahtlos austauschen und zu mobilen Ein-/Ausgabeeinheiten übertragen.

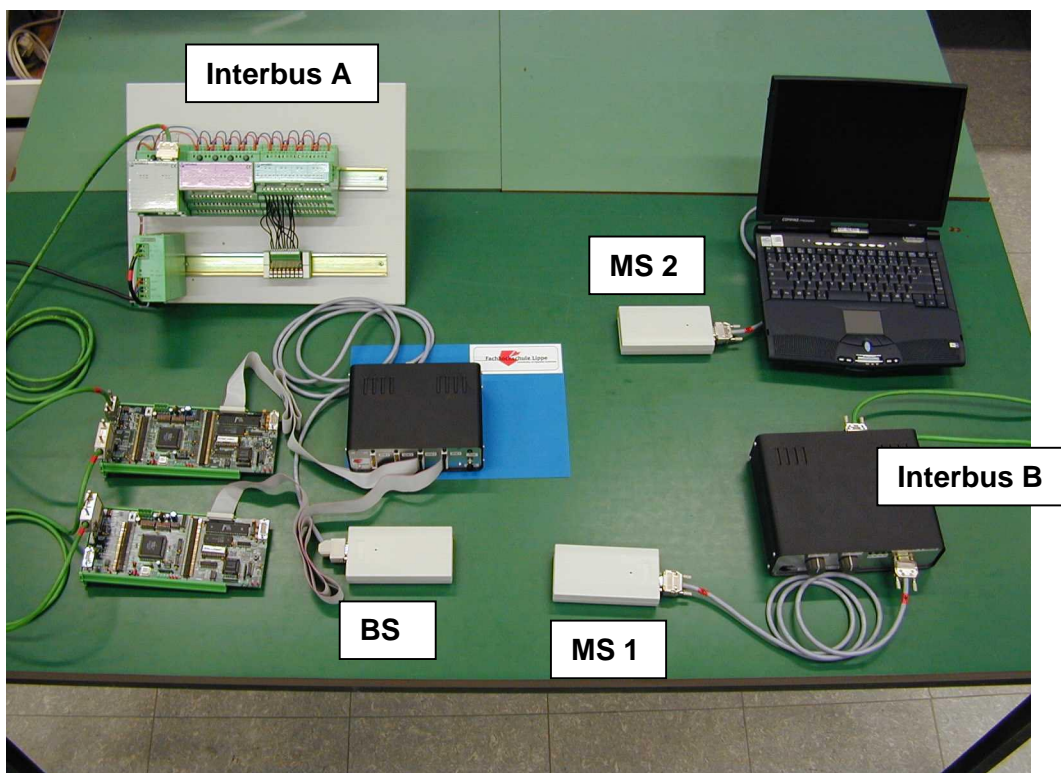


Bild 5 Demonstrationssystem der drahtlosen Teilnehmeranbindung

Die Anbindung der Funk-Basisstation an den Interbus erfolgt über eine serielle Schnittstelle und ein modulares Gateway innerhalb eines Lokalbusses. Der wichtigste Baustein in diesem Gateway ist das SUPI (*Serielles Universelles Peripherie Interface*), ein speziell für Interbus-Teilnehmer entwickeltes IC der Firma Phoenix Contact. Es wickelt das Interbus-Protokoll für Slave-Geräte ab und koordiniert die Kommunikation mit dem Master über das Summenrahmenverfahren.

Um eine optimale Systemdiagnose zu ermöglichen, werden genauso viele SUPIs wie drahtlos angebundene Teilnehmer verwendet. Jeder mobile Teilnehmer kommuniziert daher über ein eigenes Gateway-SUPI mit dem Interbus-Master. Die Interbus-Zykluszeit erhöht sich mit jedem SUPI nur um wenige μs . Die Vorteile dieses Aufbaus liegen auf der Hand: die Registerlänge und ID-Nummer eines jeden über Funk angeschlossenen Teilnehmers können direkt am Gateway-SUPI eingestellt werden, so dass die übergeordnete Steuerung während des ID-Zyklus die zum Betrieb des Interbus notwendigen Daten erhält. Zudem stehen auf diese Art jedem Teilnehmer sämtliche 64 Bytes zur Verfügung, die maximal an einem SUPI abgegriffen werden können. Eine aufwendige Adressierung der Daten entfällt, da der Master mit den einzelnen SUPIs wie gewohnt über das Summenrahmenverfahren kommunizieren kann. Nebenbei entstehen kundenfreundliche Diagnoseeigenschaften, da ein Fehler eines drahtlos angebundene Teilnehmers über das ihm zugeordnete SUPI dem Interbus-Master mitgeteilt wird. Eine nachträgliche und aufwendige Fehlerlokalisierung entfällt.

Eine dem Gateway nachgeschaltete Protokoll-Baugruppe sorgt für die Kommunikation mit der Basisstation, indem sie die an den einzelnen Gateway-SUPIs anliegenden Daten abgreift und in das vom Funksystem verwendete Protokoll einbindet. Dazu gehören eine Adressierung und Fehlerbehandlung der Daten sowie eine Anpassung an die serielle Schnittstelle der Funkstation.

Diese modulare Logik erweist sich als vorteilhaft: bei einem eventuellen Wechsel auf ein anderes Funksystem muss lediglich der Mikroprozessor der Protokoll-Baugruppe neu programmiert werden.

Für die Anbindung der Funk-Mobilstation ist keine Protokoll-Umsetzung notwendig: die Daten des Gateway-SUPIs werden transparent an die Mobilstation übergeben.

Bild 6 zeigt einen Reichweitenvergleich in industrieller Umgebung, bei dem das DECT-System sehr gut abschnitt. Mit einer durchschnittlich erzielten Reichweite von 70 m in einem einzellularen Netz ist dieses System für viele industrielle Anwendungen einsetzbar. Ebenso wie die getesteten Bandspreizsysteme konnte auch das DECT-System nicht durch Störquellen wie Bandgeneratoren oder Erodiermaschinen beeinflusst werden.

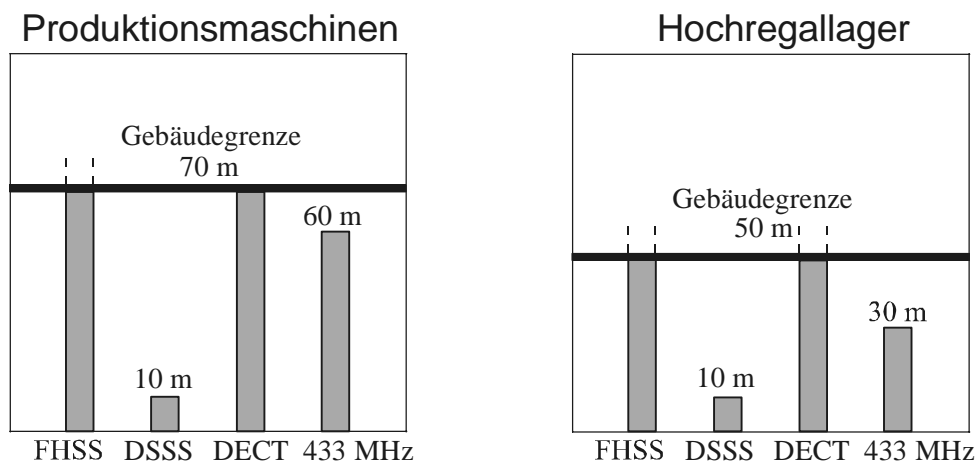


Bild 6 Der Reichweitenvergleich in industrieller Umgebung:
Das DECT-System behauptet sich gegenüber einem Bandspreizsystem

6.2.2 Transparente Funkbrücke beim Interbus

Bild 7 zeigt das Prinzip des aufgebauten Demonstrationssystems. Zwei identische Brückenmodule sind an die ankommende bzw. weiterführende Seite einer Fernbusstrecke angeschlossen.

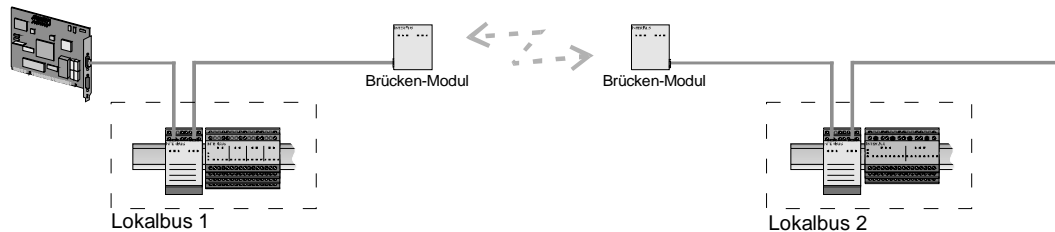


Bild 7 Transparente Interbus-Funkbrücke

Für den Interbus-Master ist diese Funkstrecke nicht zu erkennen, weil den beiden Brückenmodulen keine ID-Nummern zugewiesen werden. Jedes Brückenmodul besteht aus einem Fernbusmodul, das die Anbindung an die RS485-Schnittstelle des Interbus übernimmt und für die Abtastung und Aufbereitung der Interbus-Daten sorgt. Das folgende MAC-Modul (medium access) übernimmt die Programmierung und Steuerung des Funkmoduls. Außerdem koordiniert es die Übergabe der aufbereiteten Interbus-Daten zwischen Fernbus- und Funkmodul. Protokollmäßig ist die Brücke als Repeater geschaltet. Bild 8 verdeutlicht den Datenfluss.

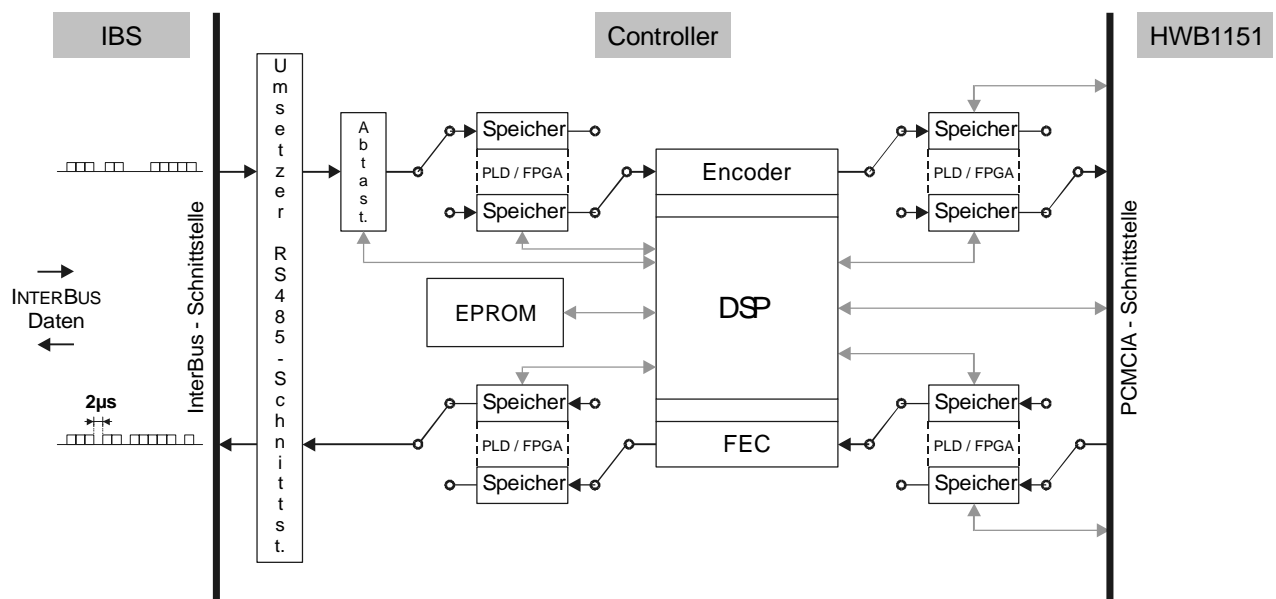


Bild 8 Datentransport im Brückenmodul

Der kontinuierliche bidirektionale Interbus-Datenstrom kann im Frequenz-Duplex oder im Zeit-Duplex übertragen werden. Beim Frequenz-Duplex werden für Hin- und Rückrichtung zwei unterschiedliche Frequenzkanäle verwendet. Die Datenübertragung erfolgt paketorientiert oder kontinuierlich. Eine Übertragung im Zeit-Duplex ist hingegen lediglich paketorientiert möglich. Hierbei werden die Pausen zwischen den Paketen für die Umschaltung der Sendempfangs-Richtung auf der Luftschnittstelle genutzt.

Eine zusätzliche Datensicherung der Funkübertragung ist als Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC) auszulegen. Sie kann von einem digitalen Signalprozessor (DSP) ausgeführt werden. Bei der paketorientierten Übertragung eignen sich Block- und Faltungscodes; bei der kontinuierlichen Übertragung sind hingegen lediglich Faltungscodes einsetzbar.

Als Funkmodul ist das Produkt HWB 1151 von Harris/Intersil ausgewählt worden. Es arbeitet im Zeit-Duplex nach dem Prinzip der direkten Bandspreizung (DSSS) im 2,4-GHz-ISM-Band, bietet Netto-Bitraten bis 11 Mbit/s und hat das Gehäuseformat PCMCIA PC Card (Typ II). Die zu übertragenden Nutzdaten werden senderseitig gespreizt, verwürfelt, moduliert und auf 2,45 GHz umgesetzt. Es wird keine Kanalkodierung zur Datensicherung verwendet. Das aufgebaute Demonstrationssystem zeigt Bild 9.

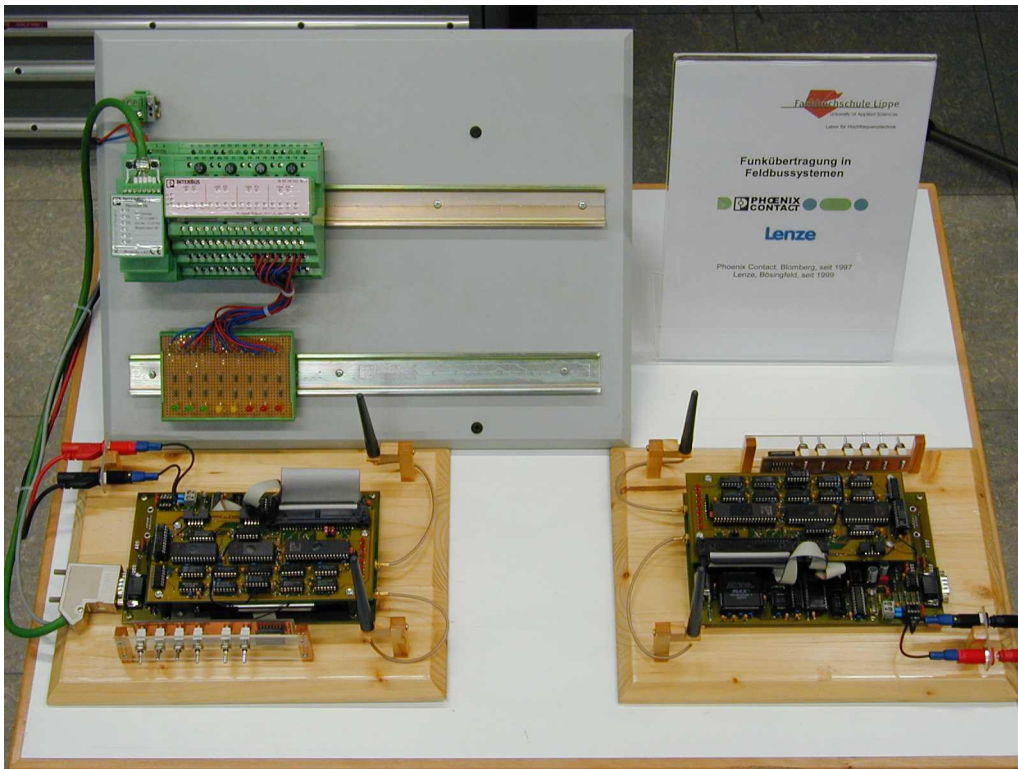


Bild 9 Demonstrationssystem der transparenten Interbus-Funkbrücke

Paketorientierte Übertragung

Die mit 500 kbit/s anfallenden asynchronen Interbus-Daten werden abgetastet, telegramorientiert mit 500 kHz in einen Speicher eingelesen und mit einer höheren Taktrate ausgelesen. Mehrere Interbus-Telegramme bilden ein Nutzdatenpaket auf der Luftschnittstelle, das vom Funkmodul um Präambel und Header ergänzt wird. Der Beginn der Datenübertragung wird von den eingelesenen Telegrammen und den unbestimmten Telegrammpausen bestimmt. Auf der Empfangsseite werden die übertragenen Nutzdaten zunächst mit einer hohen Taktrate in einen Speicher geschrieben und anschließend mit 500 kHz ausgelesen. Jedes übertragene Nutzdatenpaket startet den Auslesevorgang auf der Empfangsseite. Damit ist der Ausgabedatenstrom synchron zum Eingabedatenstrom, und die Echtzeitbedingungen werden eingehalten.

Die Größe des Nutzdatenpakets ist abhängig von der gewählten Übertragungsgeschwindigkeit auf der Luftschnittstelle. Diese kann zwischen 1 und 11 Mbit/s gewählt werden. Präambel und Header werden jedoch stets mit 1 Mbit/s übertragen, wobei lediglich Einfluss auf deren Länge

genommen werden kann. Beispielsweise kann die Präambel verkürzt werden, wenn auf ein Antennen-Diversity verzichtet wird.

Kontinuierliche Übertragung

Hierbei wird eine Übertragung einmalig mit Präambel und Header eingeleitet, gefolgt von kontinuierlich anfallenden Nutzdaten. Der Funkkanal wird also einmal geöffnet, und der Empfänger bleibt in einem zum Sender synchronen Zustand. Die Interbus-Daten werden zweifach überabgetastet und mit 2 Mbit/s übertragen. Auch dieser Übertragungsmodus erfüllt die Echtzeitbedingung. Er bietet gegenüber der Paketübertragung den Vorteil einer geringeren Verzögerungszeit.

Ergebnisse

Die zwischen ankommender und weiterführender Interbus-Schnittstelle gemessene Verzögerungszeit der Funkbrücke beträgt je nach Systemauslegung zwischen 302 μs und 350 μs im paketorientierten Modus. Bei der kontinuierlichen Datenübertragung beträgt die gemessene Verzögerungszeit lediglich 4...4,56 μs . Sie ist deutlich geringer als bei der paketorientierten Übertragung.

Die Bestimmung des zeitlichen Jitters der gesamten Funkbrücke ergab 1 μs im paketorientierten Modus. Sie wurde gemessen zwischen den ankommenden und den weiterführenden periodisch anfallenden Interbus-Daten. Dabei entfällt ein Jitter von lediglich 96 ns auf das Funkmodul und ca. 900 ns auf die sender- und empfängerseitige Signalverarbeitung außerhalb des Funkmoduls. Bei der kontinuierlichen Datenübertragung trat ein Jitter von 560ns der gesamten Funkbrücke auf. Diese geringen Schwankungen des Funkmoduls ermöglichen eine zeitlich präzise Verarbeitung der Interbusdaten.

Die Bitfehlermessungen wurden in einem Laborraum der Fachhochschule Lippe ohne zusätzliche Datensicherung durchgeführt. Hierbei wurden die Ergebnisse verschiedener Betriebsfälle aufsummiert: Abstandsvariation von 2 bis 8 m, Funkkanal mit und ohne Sichtverbindung, Abschattung durch kreuzende Personen, ruhende und bewegte Funkstation. Es ergaben sich Bitfehlerraten von $\text{BER} = (4 \dots 170) \cdot 10^{-6}$. Die Verwendung von Antennen-Diversity und Mehrwegeauswertung ermöglicht die geringste Bitfehlerrate von $\text{BER} = 4 \cdot 10^{-6}$. Es sei erwähnt, dass Betriebsfälle ohne Störung der Sichtverbindung durchaus $\text{BER} = 0$ ergeben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit der aufgebauten Funkbrücke Interbus-Daten echtzeitfähig übertragen werden können. Tab.2 fasst die Ergebnisse zusammen. Für eine produktnahe Anwendung sind die Bitfehler jedoch noch zu hoch. Daher ist eine zusätzliche Vorwärtsfehlerkorrektur zu implementieren, die optional als DSP-Steckmodul eingebunden werden kann. Damit lässt sich die Bitfehlerrate ca. um den Faktor 1000 reduzieren.

Tabelle 2 Zusammenfassung der Messergebnisse

	Verzögerung	Jitter	BER	Anpassung an unterschiedliche Übertragungsbedingungen
Paketmodus	350 μs	1 μs	$4 \cdot 10^{-6}$	ja
kontinuierlicher Modus	4 μs	0,56 μs	$30 \cdot 10^{-6}$	nein

6.2.3 Drahtlose Hochregallagersteuerung

Mit der Firma Lenze aus Bösingfeld konnte ein weiterer Kooperationspartner aus dem Bereich Antriebstechnik gewonnen werden. Es wurde beschlossen, ein leistungsfähiges Demonstrationssystem aufzubauen, anhand dessen einschlägige Anwendungen aus der Antriebstechnik aufgezeigt werden können. Nach gemeinsamer Beratung mit allen Beteiligten fiel die Wahl auf ein Hochregallagerzugriffssystem, das in drei Achsen bewegt und mit einem zusätzlichen Greifsystem ausgestattet ist. Bild 10 zeigt das Prinzip und Bild 11 ein Foto.

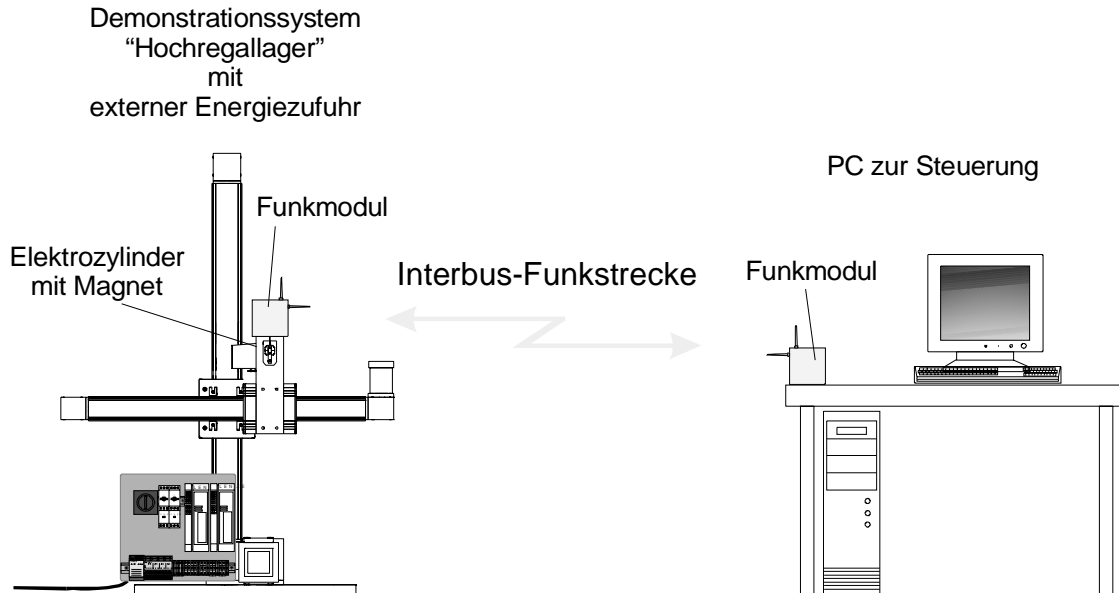


Bild 10 Prinzip des Hochregallager-Zugriffsystems

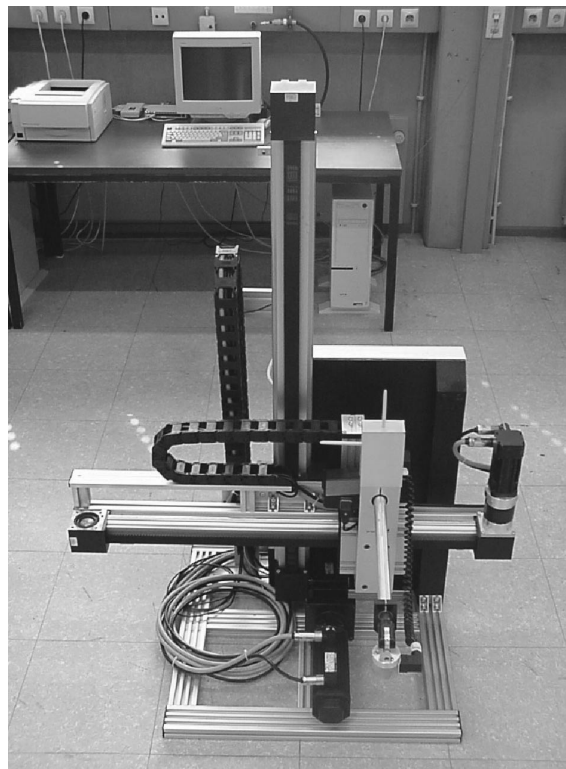


Bild 11 Aufgebautes Hochregallager-Zugriffsystem

Als Funkverbindung kommt die transparente Funkbrücke aus Abschnitt 6.2.2 zum Einsatz. Im Rahmen der Steuerung werden sowohl zeitkritische Prozess- als auch zeitunkritische Parameterdaten verwendet.

6.3 Zusammenfassung der technischen Ergebnisse

Mit den im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Arbeiten konnte erfolgreich gezeigt werden, dass kommerziell verfügbare Funkprodukte geeignet sind, als drahtlose Ergänzung in Feldbussystemen eingesetzt zu werden.

Für die fehlerfreie Übertragung zeitunkritischer Parameterdaten einzelner oder mehrerer Teilnehmer steht eine Vielzahl von Funkprodukten bereit. Es ist jedoch stets eine spezielle Anpassung des Funkproduktes an die Parameterübertragung vorzunehmen, wobei der technische Aufwand sehr gering ist.

Auch die fehlerfreie Übertragung der zeitkritischen Feldbusprotokolle ist mit einigen Funkprodukten möglich. Dafür ist jedoch ein sehr großer technischer Aufwand für die Anpassung des Funkproduktes an die Feldbusprotokolle notwendig.

Die Nachfrage nach Funklösungen im Feldbusbereich wird entscheiden, ob sich konkrete Produktentwicklungen für Unternehmen lohnen.

7 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Alle relevanten Ergebnisse sind als Zeitschriftenveröffentlichungen und als Konferenzbeiträge publiziert. Damit können Unternehmen entscheiden, ob sich eine Produktrealisierung für sie lohnt. Darüber hinaus steht das Labor für Hochfrequenztechnik der Fachhochschule Lippe zur Beantwortung weiterer Fragen jederzeit zur Verfügung.

8 Technischer Fortschritt bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit sind Ergebnisse auf dem Gebiet der Funkübertragung bei Feldbussen auch von anderen Stellen publiziert worden. Zu nennen sind das Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak) in Magdeburg und das Unternehmen Softing GmbH aus Haar. Dabei konzentrierten sich diese Stellen überwiegend auf Untersuchungen der Funkübertragung beim Profibus und Canbus. Relevante Veröffentlichungen in diesem Zusammenhang sind:

- Projektträgerschaft Fertigungstechnik und Qualitätssicherung: Abschlussbericht des Verbundprojektes "Drahtlose Feldbusse im Produktionsumfeld"; Förderkennzeichen 02PV4060; Oktober 2000; Bezug über Interbus Club Deutschland
- J. Hähnliche: *Digitale Kommunikation in der Automatisierungstechnik per Funk - Utopie oder Wirklichkeit?*; VDI-Berichte 1608; VDI Verlag GmbH; Düsseldorf 2001; 239 - 250
- M. Patz; J. Luttenbacher: *Das Verbundprojekt FUNBUS - drei Realisierungen funkgestützter Feldbusse*; VDI-Berichte 1608; VDI Verlag GmbH; Düsseldorf 2001; 251 - 260
- M. Peter: Einsatz von Funktechnologien im Interbus - ein Erfahrungsbericht; VDI-Berichte 1580; VDI Verlag GmbH; Düsseldorf 2000; 107 - 116

Soweit dies aus den Veröffentlichungen ersichtlich ist, arbeitete keine der anderen Stellen mit den hier ausgewählten Funkprodukten, was sich besonders bei der transparenten Interbus-Brücke als ausgesprochen erfolgreich erwiesen hat.

Die Kernaussagen dieses Abschlussberichtes und der anderen Veröffentlichungen sind vergleichbar in der globalen Aussage der technischen Machbarkeit. Es besteht jedoch noch ein konkreter Entwicklungsbedarf bis ein serienreifes Produkt zur Verfügung steht.

9 Veröffentlichungen

9.1 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Konferenzberichten

1. T. Heil, A. Brand, U. Meier: *Funkübertragung in Feldbussystemen - Erprobungstests in industrieller Umgebung*, Elektronik 26, 1998, 58 - 61
2. J. Konopka, D. Fischer, J. Körtner, U. Meier, M. Peter: *Drahtloser Interbus über DECT - Nutzung digitaler Funksysteme in der Automatisierungstechnik*, Elektronik 19, 1999, 85 - 89
3. K. Olthoff, M. Peter, P. Walther, U. Meier: *Drahtlos glücklich - Echtzeitfähige Funkübertragungssysteme für Feldbusse eignen sich schon heute für den industriellen Einsatz*, Elektronik 24, 2000, 70 - 77
4. K. Hanning, K. Olthoff, K.-H. Weber, A. Tegtmeier, U. Meier: *Freie Kurvengänger – Der funkgesteuerte Zugriff ins Hochregallager*, Elektronik 24, 2000, 78 - 79
5. U. Meier, K. Olthoff: *Echtzeitfähige Funkübertragung beim Interbus*, VDI-Berichte 1608; VDI Verlag GmbH; Düsseldorf 2001; 829 - 836

9.2 Vorträge

1. U. Meier: Okt. 1999, Fachsymposium Digades GmbH "Drahtlose Kommunikation - eine innovative Lösung", Zittau: *Vergleichende Betrachtung zum Einsatz von Funksystemen in industriellen Anwendungen*
2. K. Olthoff: Mai 2000, Fachsymposium Digades GmbH "Drahtlose Kommunikation - eine innovative Lösung", Zittau: *Funkübertragung in Feldbussystemen auf DECT-Basis*
3. U. Meier, K. Olthoff : Mai 2001, GMA-Kongress "Mess- und Automatisierungstechnik im Spannungsfeld neuer Technologien", Baden-Baden, *Echtzeitfähige Funkübertragung beim Interbus*

10 Verwendete Abkürzungen

ARQ	automatic repeat request
BS	Basisstation
BSC	Basisstations-Controller
CSMA	carrier sense multiple access
CSMA/CA	CSMA/collision avoidance
DECT	digital enhanced cordless telecommunication
DS	direct sequence
DSSS	direct sequence spread spectrum
FEC	forward error correction
FH	frequency hopping
FHSS	frequency hopping spread spectrum
HIPERLAN	high performance radio local area network
ID	identification
IEEE	institute of electrical and electronics engineers
LAN	local area network
MAC	medium access
MS	Mobilstation
PAN	pico area network
SS	spread spectrum
SUPI	serielles universelles Peripherie Interface
SWAP	shared wireless access profile
WAN	wide area network
WLAN	wireless local area network