

Völlig losgelöst: Was leisten moderne Telemetriesysteme?

Werner Schnorrenberg, Joachim Hachmeister

Die Erfassung von Messdaten an bewegten Maschinenteilen oder an schwer zugänglichen, räumlich beschränkten Orten und ihre stör sichere Übertragung zu einer mehr oder weniger weit entfernten Wiedergabestation stellt oft eine besonders knifflige Messaufgabe dar. Berührungslos arbeitende Telemetriesysteme bieten für solche Fälle flexible Lösungen – sowohl für stationäre als auch für mobile Anwendungen, gleichgültig ob die zu überbrückende Entfernung nur einige Millimeter oder aber Kilometer beträgt. Der nachfolgende Artikel gibt einen Überblick über den aktuellen technischen Stand der modernen Telemetrie-Messtechnik.

Im Allgemeinen werden Sensoren zur Ermittlung physikalischer Größen, wie Dehnungsmessstreifen, Thermoelemente, Potentiometer, Druckaufnehmer, Piezoaufnehmer, kapazitive Beschleunigungssensoren, PT100 über abgeschirmte oder verdrehte Leitungen mit dem nachgeschalteten Messwerterfassungssystem verbunden. In vielen Fällen ist es aber sehr schwierig oder auch unmöglich eine kabelgebundene Verbindung zwischen Sensor zur Messwerterfassung zu realisieren. Dann liegt ein klassischer Einsatzfall für Telemetrie-Messtechnik vor. Hierzu ein Beispiel: Es besteht die Aufgabe, das Drehmoment von der Kardanwelle eines Pkws zu einer im Fahrzeuginnenraum positionierten Messwerterfassungsanlage zu übertragen. Als Sensor wird ein Dehnungsmessstreifen (DMS) in Vollbrücke verwendet, der zur Messung der Torsion auf die Kardanwelle geklebt wird. Da von der drehenden Kardanwelle keine elektrischen Leitungen zur stationären Messwerterfassungsanlage verlegt werden können, muss die Übertragung der Messsignale berührungslos erfolgen.

Telemetriezweige: Analoge 1- und 2-Kanalsysteme

Analoge 1- und 2-Kanal-Telemetriesysteme werden vorwiegend für rotierende Applikationen eingesetzt, wie z.B. zur Übertragung von Drehmomenten, Schwingungen oder Temperaturen von drehenden Wellen, Achsen, Flanschen, Rädern, Scheiben, Schaufeln, Flügeln oder Propellern. Der Telemetrie-Sender (Rotorelektronik) ist in einem kleinen und stabilen Metallgehäuse untergebracht, entweder in flacher Bauform für radiale oder runder Bauform für axiale Applikationen. Da die Rotorelektronik nur ca. 15g wiegt, beeinflusst sie Steifigkeit,

Masse und Unwucht der Welle nur unwesentlich. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines analogen 1-Kanal-Telemetriesystems am Beispiel einer Applikation auf einer Antriebswelle mit DMS-Sensor. Zunächst werden DMS und Rotorelektronik auf der Welle befestigt und eine elektrische Verbindung zwischen Sensorausgang und den Lötanschlüssen der Rotorelektronik hergestellt. Die Rotorelektronik versorgt die DMS-Brücke mit einer konstanten Brückenspannung. Das Ausgangssignal der Messbrücke wird von der Rotorelektronik einstellbar um Faktor 1 bis 20.000 verstärkt und mit einer Grenzfrequenz von z.B. $f_g=1$ kHz gefiltert. Die Auswahl der Signalverstärkung erfolgt durch Anbringen von Lötbrücken oder Widerständen auf der Kontakteleiste der Rotorelektronik. Anschließend durchläuft das Signal einen linearen Spannungs-/Frequenz-Wandler, der aus dem verstärkten und konditionierten Eingangssignal von max. $\pm 5V$ ein proportionales Frequenzsignal von 5...15 kHz erzeugt. Bei der HF-Übertragung von Sensorsignalen arbeiten Telemetriesysteme grundsätzlich mit Frequenzmodulation (FM), weil die abgestrahlte Leistung bei FM - im Gegensatz zu AM - unabhängig von der Signalamplitude konstant bleibt. Außerdem sind frequenzmodulierte Signale sehr störfest gegenüber Amplitudenüberlagerungen und Störeinstrahlungen (EMV), da die gesamte Information ausschließlich in einer Änderung der Frequenz enthalten ist.

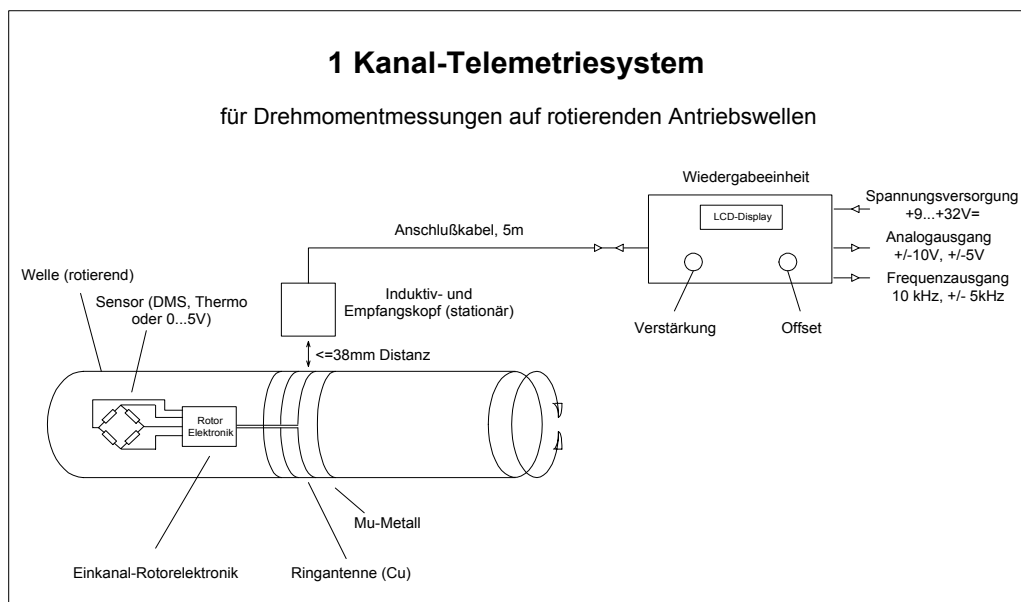


Bild 1: Schematischer Aufbau einer Rotortelemetrie zur Messung von Drehmomenten auf einer rotierenden Antriebswelle

Nach der Frequenzkonvertierung wird das Messsignal dem Eingang eines in der Rotorelektronik integrierten Miniatur-Senders zugeführt, dessen HF-Ausgangssignal zur

Abstrahlung auf eine Kupfer-Ringantenne geleitet wird, die in Form einer einzelnen Drahtwindung um die Welle herum ausgeführt ist. Die Trägerfrequenz der Rotorelektronik ist wählbar zwischen 10 bis 30 MHz, so dass bis zu 7 Systeme am gleichen Ort betrieben werden können, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen. Durch Verwendung eines weiteren Trägerfrequenzoszillators auf dem gleichen Chip ist neben der 1-kanaligen Standardlösung auch eine 2-Kanal-Version möglich.

Zum Empfang des HF-Signals wird ein Empfangskopf (Stator) in geringem Abstand zur Ringantenne befestigt. Vom Empfangskopf wird das verstärkte HF-Signal einer Wiedergabeeinheit zugeführt. Dort wird das frequenzmodulierte Signal demoduliert, F/U gewandelt, amplitudenverstärkt, gefiltert und steht an den Ausgangsbuchsen der Wiedergabeeinheit als normiertes +/-5 oder +/-10 Volt-Signal oder als Frequenzsignal (10 kHz, +/- 5 kHz) zur weiteren Signalverarbeitung zur Verfügung. Zur einfachen und schnellen Funktionskontrolle und Nachjustierung des gesamten Meßsystems, kann von der Wiedergabe aus per Knopfdruck jederzeit eine drahtlose Shunt-Kalibration auch im laufenden Versuch ausgelöst werden.



Bild 2: Montage einer 1-Kanal-Telemetrie auf Kardanwelle und Seitenantriebswellen



Bild 3: Beispiel für eine 2-Kanal-Telemetrie zur DMS-Messung auf einer Kardanwelle

Wird die Rotorelektronik auf der rotierenden Welle mit Hilfe einer 9-Volt-Batterie versorgt, ist der Messaufbau hiermit abgeschlossen. Die Spannungsversorgung mit Batterie oder Akku hat jedoch den Nachteil, dass die Telemetrie nur eine begrenzte Zeit von etwa 8 Stunden betriebsbereit ist. Um einen Dauerbetrieb des Systems in Maschinen, Fahrzeugen oder Prüfständen zu ermöglichen, muss die Rotorelektronik induktiv spannungsversorgt werden. Zu diesem Zweck befindet sich im Empfangskopf ein induktiver Leistungsübertrager, der ein starkes, niederfrequentes Wechselfeld erzeugt. Dieses Wechselfeld induziert nach dem Transformatorprinzip eine Wechselfeldspannung in der Ringantenne, die in der Rotorelektronik gleichgerichtet wird und zu deren Stromversorgung dient. Mit diesem Schaltungstrick wird die Rotorelektronik ferngespeist und ist damit für Dauerversuche geeignet. Zu beachten ist hierbei, dass der Induktivkopf nicht weiter als ca. 4 cm von der Leiterschleife montiert wird, da ansonsten die induzierte Leistung nicht mehr ausreicht und die telemetrische Übertragung abreißt. Weiterhin muss die um die Welle gelegte Ringantenne zur magnetischen Isolierung mit MU-Metall unterlegt werden, da ansonsten das Magnetfeld des Induktivkopfes vom Ferritanteil der Welle „aufgesaugt“ wird, und sich der Wirkungsgrad der induktiven Übertragung erheblich reduzieren würde.

Bei neueren Systemen kann auch der Empfangskopf mit einer Ringantenne versehen werden, um größere Abstände zum Stator zu ermöglichen. Hierzu wird ein einfacher Leitungsring, den der Anwender selbst anpassen kann, in beliebigem Durchmesser um die Welle gelegt. Angesteuert wird dieser von einem Ringstator, der bis zu 70 cm entfernt von der eigentlichen Übertragungswindung installiert werden kann. Ovale Formen des

Leitungsringes können selbst Wellen mit sehr großen Auslenkungen zuverlässig mit Energie versorgen. Auch massive metallische Umgebung hat keinen Einfluss mehr auf die Übertragung.

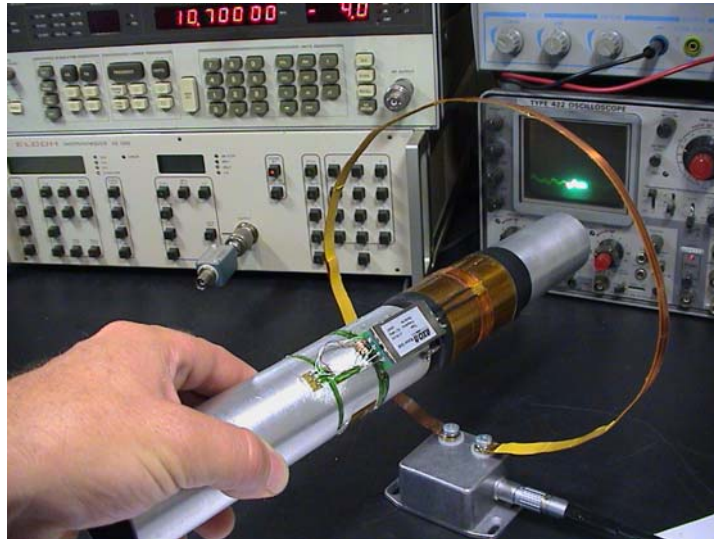


Bild 4: Beliebig geformte Ringantenne für Abstände zwischen Rotor und Stator von bis zu 70cm

Digitale Mehrkanal-Telemetriesysteme in PCM-Technik

Wollte man mehrere Kanäle nach der beschriebenen analogen FM-Technik übertragen, müssten mehrere unterschiedliche Trägerfrequenzen und eben so viele selektive Empfänger verwendet werden, was den Kosten/Nutzen-Aufwand unverhältnismäßig vergrößern würde. Die Lösung des Problems bietet die digitale Übertragungstechnik. Die eigentliche Aufgabe von Mehrkanal-Telemetriesystemen besteht darin, die einzelnen Kanäle zeitlich so miteinander zu verschachteln und zu bündeln, dass sie am Ausgang auf einer „2-Draht-Leitung“ zur Verfügung stehen und über einem einzigen HF-Sender abgestrahlt oder über Lichtwellenleiter bzw. Datenleitung übertragen werden können. Diese Art der Übertragungstechnik wird durch Digitalisieren, Multiplexen und PCM-Encodieren sämtlicher Kanäle realisiert. Die digitale PCM-Übertragungstechnik (Puls-Code-Modulation) wird seit vielen Jahren in der Kommunikations- und Nachrichtentechnik eingesetzt, z.B. weltweit zur Übermittlung von Fernsprechanalogen. Die Vorteile der PCM-Übertragungstechnik sprechen für sich:

- gleichbleibender Signal/Rausch-Abstand durch Digitalisierung des Signals
- Mehrfachausnutzung eines Nachrichtenkanals durch Multiplexing

- sehr störste Signalübertragung, geringe Empfindlichkeit gegen Übersprechen
- direkte Übernahme und Verarbeitung des empfangenen digitalen PCM-Signals in einem PC

Bilder 5 und 6 zeigen den prinzipiellen Aufbau eines Mehrkanal-Telemetriesystems, als Beispiel mit 4 Übertragungskanälen. Das PCM-Übertragungssysteme besteht im wesentlichen aus zwei Einheiten, einem PCM-Encoder zur Erfassung und Codierung der Messwerte auf der Sendeseite und einem PCM-Decoder zur Decodierung und Ausgabe der Messwerte auf der Empfangsseite.

Im *Encoder* werden folgende Funktionen durchgeführt:

- Signalaufbereitung des analogen Eingangssignals (Sensorsignal)
- Bandbreitenbegrenzung durch Tiefpass-Filter
- Simultane Signalabtastung durch einen Sample & Hold Verstärker
- A/D-Wandlung (ADC) des abgetasteten Signals
- Parallel-Seriell-Wandlung der 12-bit Wörter
- Multiplexen der Übertragungskanäle
- Konvertierung in einen PCM-Code
- Modulation des HF-Signals

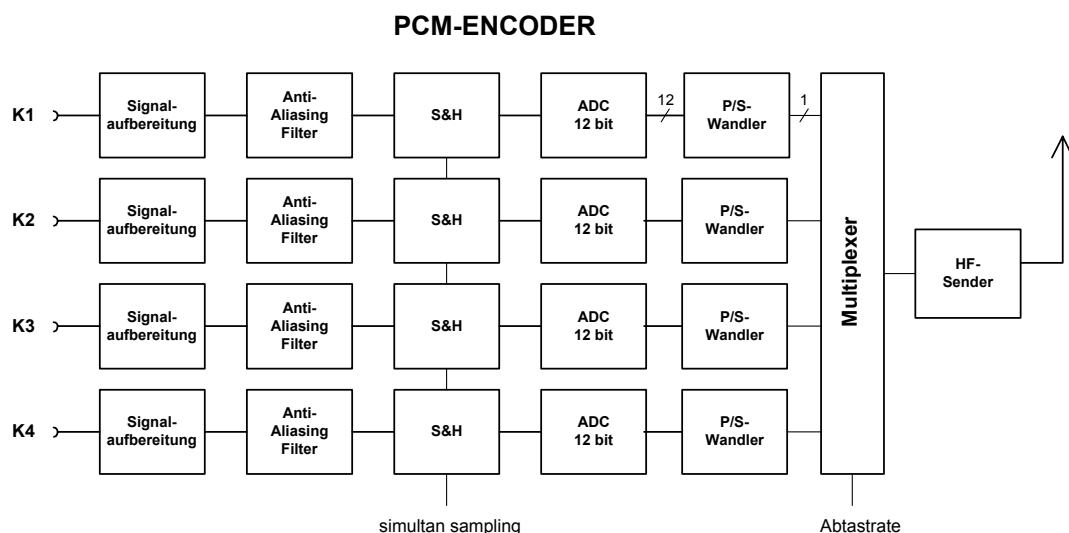


Bild 5: Blockschaltbild eines PCM-Mehrkanal-Encoders

Der *Decoder* auf der Empfangsseite erfüllt folgende Aufgaben:

- selektive Verstärkung und Demodulation des HF-Signals
- Regenerierung und Demultiplexen des seriellen PCM-Signals
- Seriell-Parallel-Wandlung
- Ausgabe von Daten in bit-paralleler, wort-serieller Form an eine PC-Interfacekarte und/oder D/A-Wandlung der Daten und Ausgabe als analoges Signal

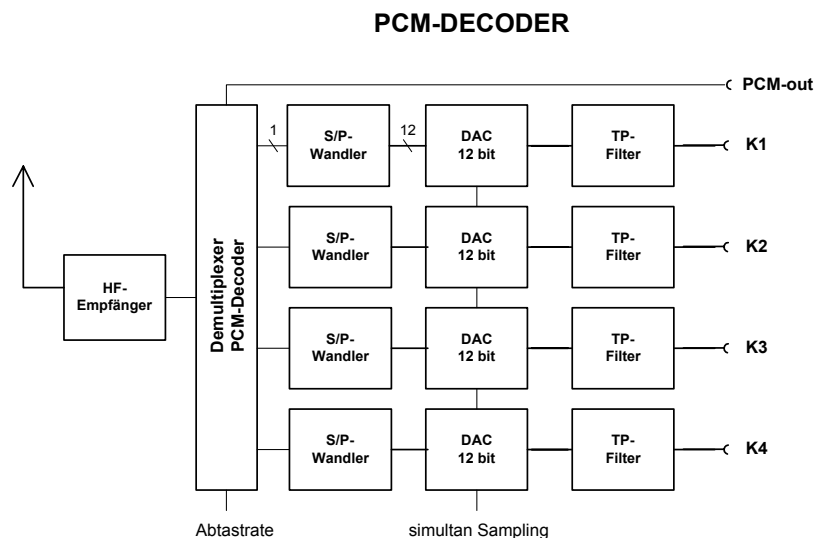


Bild 6: Blockschaltbild eines PCM-Mehrkanal-Decoders

Die telemetrische Verbindung zwischen Encoder und Decoder erfolgt auf dem Funkweg mittels HF-Sender und -Empfänger. Für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Funkübertragungszwecke wurden sog. ISM-Bänder (Industry, Science and Medicine) freigegeben. Die Benutzung dieser Frequenzbänder bedarf keiner Einzelgenehmigung, für den Anwender besteht der Vorteil einer kosten- und anmeldefreien allgemeinen Betriebserlaubnis. Die erlaubten Frequenzen liegen im 70cm-Band bei 433,92 +/- 0,8 MHz und im S-Band bei 2.400 bis 2.483,5 MHz mit einer max. Strahlungsleistung von 10 mW im 70 cm-Band und 25 mW im S-Band. Die erzielbaren Reichweiten werden durch die Trägerfrequenz, den Aufbau der Antenne, das Umfeld und die zu übertragende Datenbandbreite bestimmt. Im 70 cm-Band lassen sich im Freifeld mit Lambda/4-Stabantennen bei 8 Kanälen und einer Datenübertragungsrate von 320 kbit/s ca. 300m Entfernung überbrücken, mit Richtantennen > 1km. In einer bebauten Umgebung, wie in einer Maschinenhalle, wirken sich Dämpfung und Reflexion auf das Funkfeld aus, und die Entfernungen können kürzer ausfallen.

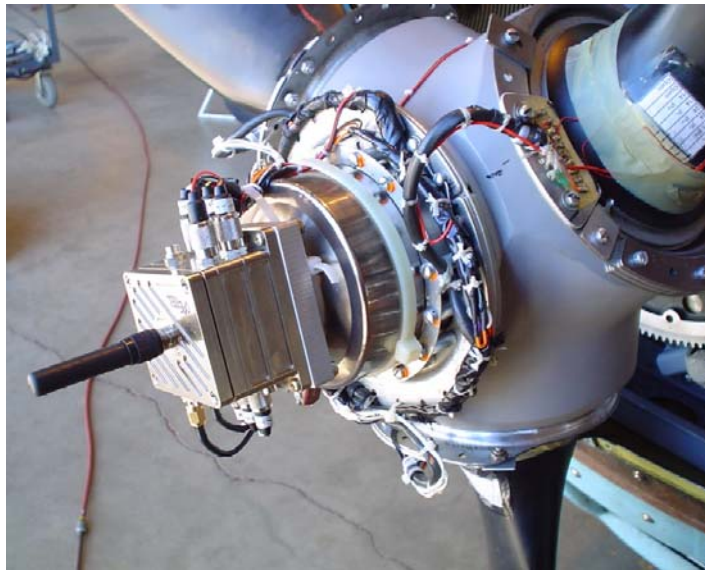


Bild 7: Programmierbare 8-Kanal-Rotortelemetrie

Neue Wege: Telemetrie benutzt WLAN-Standard

Bei konventionellen Funk-Telemetriesystemen lassen sich aufgrund der physikalischen Gesetzmäßigkeiten Interferenzen und die damit verbundenen Störungen nie ganz verhindern. Will man jedoch die aufgetretenen Übertragungsfehler korrigieren können, muss das Telemetriesystem bidirektional und somit zwangsläufig im Asynchron-Modus arbeiten. Dies ermöglichen so genannte Transceiver (Transmitter + Receiver = Sender + Empfänger, Bild 6), die über eine standardisierte WLAN-Verbindung kontinuierlich kleinere Datenpakete senden und empfangsseitig auf Korrektheit überprüfen. Kommt es zu Übertragungsproblemen, werden diese Datenpakete solange erneut angefordert, bis sie fehlerfrei ihr Ziel erreicht haben.

Ein Problem ist dabei die simultane Erfassung von unterschiedlichen Messstellen. Zum einen sind die Verzögerungszeiten der Funkstrecke nicht vernachlässigbar. Zum anderen können diese Verzögerungszeiten aufgrund von möglichen Übertragungswiederholungen zeitlich variieren. Da sich aber die Messstation direkt nach dem Zuschalten an das Funknetz mit der Hauptstation mikrosekundengenau synchronisiert, verfügen alle Mess- und Erfassungsstellen über eine gemeinsame hochpräzise Zeitbasis. Der gesamte Vorgang läuft in Bruchteilen von Sekunden ab und wird vom Anwender praktisch nicht wahrgenommen. Im Übertragungsmodus werden die einzelnen Messdaten in dem Augenblick, in dem sie erfasst

werden, mit einem exakten Zeitstempel markiert und auf dessen Basis empfangsseitig einander zugeordnet.

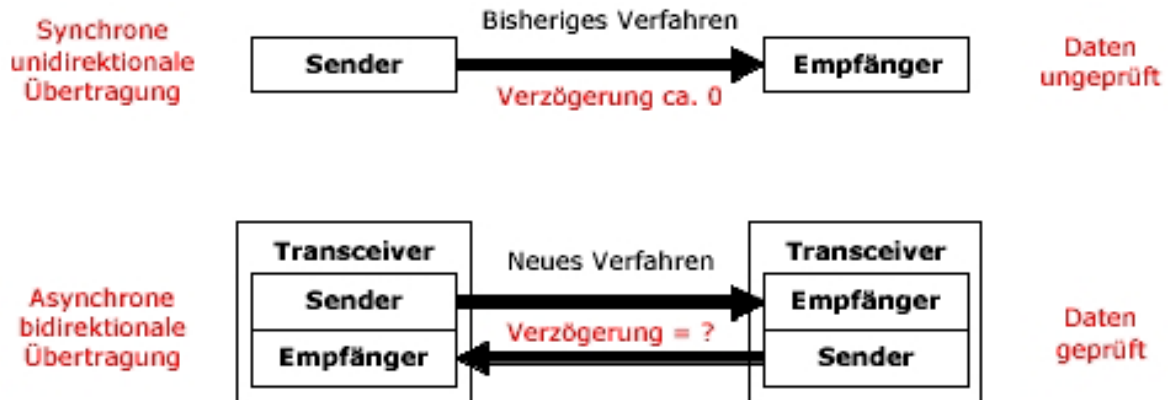


Bild 8: Blockschaltbild „Bidirektionale Telemetrie“

Ein weiteres Problem bei bidirektionalen asynchronen Übertragungen sind die kontinuierlich anfallenden Daten, die in der Regel von einem oder mehreren A/D-Wandlern am Ende der Messkette stammen. Ein so genanntes „Handshaking“, bei dem die Datenquelle auf die Bestätigung der abzuholenden Daten warten kann, ist nicht möglich und erfordert daher die Implementierung eines FIFO-Zwischenspeichers. Auf der Erfassungsseite liest der Controller den FIFO-Speicher aus und übergibt die Daten an den Transceiver, der diese fehlersicher zum Transceiver auf der Empfangsseite überträgt.



Bild 9: WLAN-Telemetriesystem

Für die Weiterverarbeitung der Daten stehen nun mehrere Optionen offen. Sie können über einen weiteren FIFO-Speicher kontinuierlich ausgegeben werden, wobei eine Torsteuerung

dafür sorgt, dass dies mit einer definierten Verzögerung geschieht, nachdem die Daten erfasst wurden. Bei den häufigsten Anwendungen wird der sendeseitig eingehende serielle oder parallele Datenstrom einfach auf die Empfangseite kopiert, z.B. für kontinuierlich arbeitende D/A-Wandler. Aber auch die direkte Ausgabe über eine Ethernet-, USB- oder RS232-Schnittstelle zur Kopplung an den Rechner ist möglich.

Zusammenfassung

Weltweit werden Telemetriesysteme für unterschiedlichste Applikationen verwendet, wo Sensoren nicht direkt mit einem Meßrechner verbunden werden können. Als Spezialisten für Dauereinsätze sorgen Telemetriesysteme für ein Höchstmaß an Sicherheit - bei der Produktions- und Prozessüberwachung, in der Antriebs- und Fördertechnik. Davon profitieren so unterschiedliche Industriezweige wie Chemie und Pharmazie, Automobilindustrie und Luftfahrttechnik, Maschinen-, Schienenfahrzeug, Schiffs- und Prüfstandsbau.

Wer dynamische Vorgänge an Zentrifugen und Turbinen, rotierenden Mischbehältern, Windkraftanlagen oder Werkzeugmaschinen überwachen, Bewegungsabläufe an Antriebs-, Kurbel-, Nockenwellen, Radachsen und -felgen oder Temperaturen an Drehöfen und Bremscheiben zuverlässig meßtechnisch erfassen will, findet in der Telemetrie-Meßtechnik das für diese Aufgaben ideale Meßmittel.

Kontakt:

TMS • Telemetrie-Messtechnik Schnorrenberg

Habichtweg 30

D-51429 Bergisch Gladbach

Tel: 02204-98155-2

Fax: 02204-98155-3

E-Mail: info@telemetry-world.com

Web: www.telemetry-world.com