

# Trends in der Telemetrie-Messtechnik

Die Erfassung von Messdaten an bewegten Maschinenteilen oder an schwer zugänglichen, räumlich beschränkten Orten und ihre störungsfreie 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.

Üblicherweise werden Sensoren, z. B. Dehnungsmessstreifen, Thermoelemente, Potentiometer, Druckaufnehmer, Piezoaufnehmer, kapazitive Beschleunigungssensoren, PT100, zur Ermittlung physikalischer Größen über abgeschirmte oder verdrehte Leitungen mit dem nachgeschalteten Messwertfassungssystem verbunden. In vielen Fällen ist es aber sehr schwierig oder auch unmöglich eine kabelgebundene Verbindung zwischen Sensor zur Messwertfassung 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 Messwertfassungsanlage 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

Übertragung der Messsignale berührungslos erfolgen.

## Telemetriezwerg: 1-Kanalsysteme

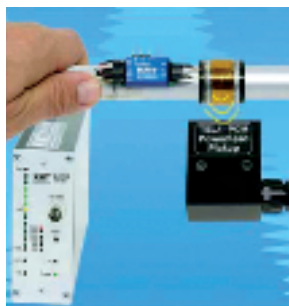
1-Kanal-Telemetriesysteme werden vorwiegend für rotierende Applikationen eingesetzt, z. B. zur Übertragung von Drehmomenten, Schwingungen oder Temperaturen von drehenden Wellen, Achsen, Flanschen, Rädern, Scheiben, Schaufeln, Flügeln oder Propellern. Der Telemetrie-Sender (Rotorelektronik) ist in einem kleinen und stabilen Metallgehäuse untergebracht, entweder in flacher Bauform für radiale oder in runder Bauform für axiale Applikationen. Da die Rotorelektronik nur ca. 13 g wiegt, beeinflusst sie Steifigkeit, Masse und Unwucht der Welle nur unwesentlich. Das verdeutlicht auch der prinzipielle Aufbau eines analogen 1-Kanal-Telemetriesystems am



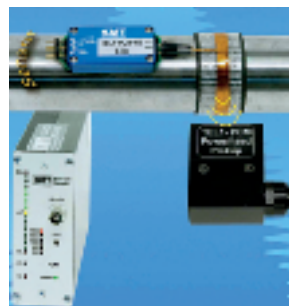
8-Kanal-Rotationstelemetrie zur Messung und telemetrischen Übertragung von Radkräften an einem Flugzeug-Leitwerk. Alle Abb.: KMT

Beispiel einer Applikation auf einer Antriebswelle mit DMS-Sensor.

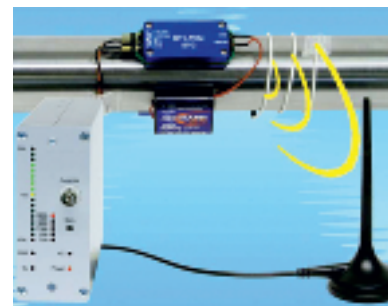
Zunächst werden DMS und Rotorelektronik auf der Welle befestigt und eine elektrische Verbindung zwischen Sensorausgang und den Lötanschlüssen der Rotorelektronik hergestellt. Die Rotorelektronik versorgt die DMS-Brücke mit einer konstanten Brückenspannung. Das Ausgangssignal der Messbrücke wird um Faktor 250 bis 8.000 verstärkt, anschließend im Frequenzbereich bis 1200 Hz digitalisiert (12 Bit-A/D-Wandler) und einer Übertragungsspule auf der Welle zugeführt. Ein bis zu 4 cm von der Spule entfernt montierter Induktiv-Kopf (Stator) empfängt das Signal und leitet es über ein Kabel weiter zu einer Wiedergabe, wo es als  $\pm 10$  V-Messsignal abgegriffen werden kann. Der Induktiv-Kopf



1-Kanal-Telemetrie mit induktiver Spannungsversorgung.



High-Speed Telemetrie mit 50 kHz Bandbreite.



Digitale 1-Kanal-Funktelemetrie.

### Der Autor

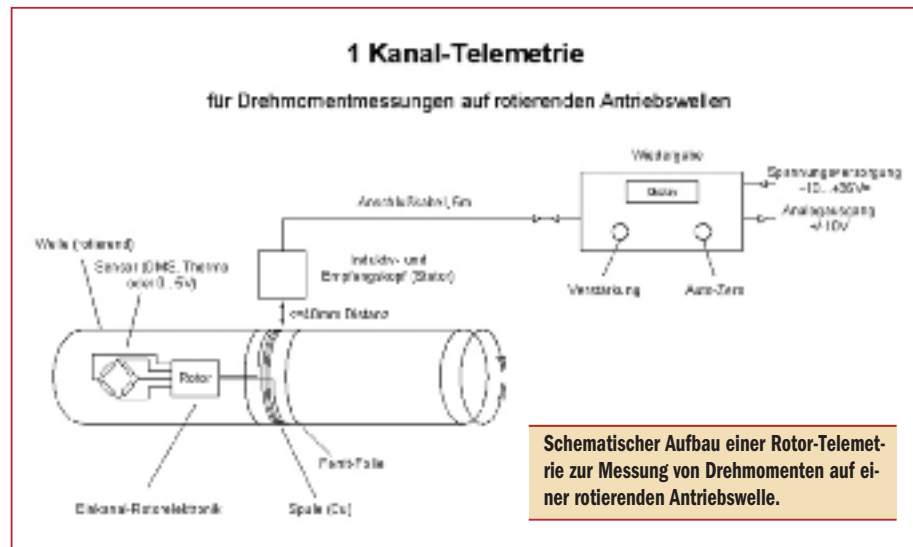
Dipl.-Ing. Werner Schnorrenberg ist Leiter Technik/Vertrieb der KMT – Kraus Messtechnik GmbH, Bergisch Gladbach und Otterfing.

zur stationären Messwertfassungsanlage verlegt werden können, muss die

übernimmt gleichzeitig die berührungslose Spannungsversorgung der Rotorelektronik, indem ein starkes, niederfrequentes, elektromagnetisches Wechselfeld in die Spule übertragen wird. Die Wahl der Spannungsverstärkung und „Auto-Zero“-Einstellungen sind jederzeit von der Wiedergabeseite aus möglich.

### Digitale Telemetriesysteme in PCM-Technik

Moderne Mehrkanal-Telemetriesysteme arbeiten mit digitaler Übertragung in PCM-Technik. 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 einen einzelnen 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 Fernsprechkämen. Die Vorteile der PCM-Übertra-



gungstechnik sprechen für sich:

- gleichbleibender Signal/Rausch-Abstand durch Digitalisierung des Signals,
- Mehrfachausnutzung eines Nachrichtenkanals durch Multiplexing,
- sehr störteste Signalübertragung, geringe Empfindlichkeit gegen Übersprechen,
- direkte Übernahme und Verarbeitung des empfangenen digitalen PCM-Signals in einem PC.

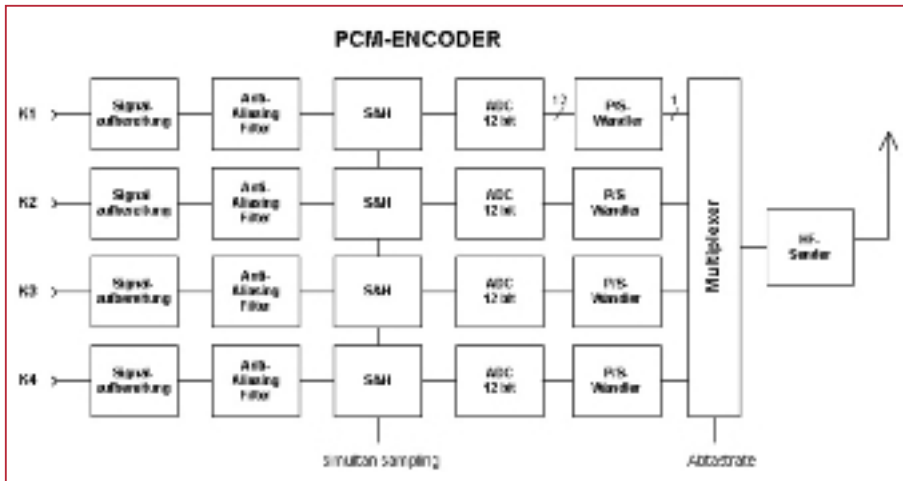
Diese Zusammenhänge werden auch deutlich durch den prinzipiellen Aufbau eines Mehrkanal-Telemetriesystems, als Beispiel mit 4 Übertragungskämen. Das PCM-Übertragungssystem besteht im Wesentlichen aus zwei Einheiten, einem PCM-Encoder zur Erfassung und Codierung der Messwerte auf der Sendeseite und einem 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 Übertragungskämen,
- Konvertierung in einen PCM-Code,
- Modulation des HF-Signals.

Der Decoder auf der Empfangsseite erfüllt folgende Aufgaben:

- selektive Verstärkung und De-



Blockschaltbild eines PCM-Mehrkanal-Encoders.

modulation des HF-Signals,

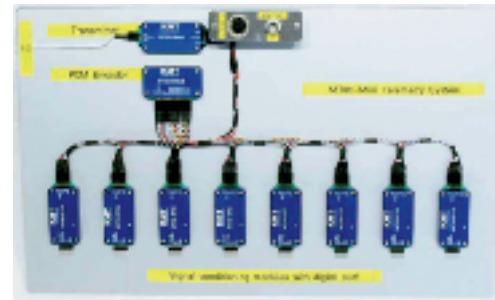
- Regenerierung und Demultiplexen des seriellen PCM-Signals,
- Seriell-Parallel-Wandlung,
- Ausgabe von Daten in bit-paralleler, wort-serieller Form an eine PC-Interfacekarte und/oder D/A-Wandlung der Daten und Ausgabe als analoges Signal.

**Messdaten im ISM-Band**

Die telemetrische Verbindung zwischen Encoder und Decoder erfolgt auf dem Funkweg mittels HF-Sender und -Empfänger. Für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Funkübertragungszwecke wurden so genannte ISM-Bänder (Industry, Science and Medicine) freigegeben. Die Benutzung dieser Frequenzbänder bedarf kei-

ner Einzelgenehmigung, für den Anwender besteht der Vorteil einer kosten- und anmeldefreien allgemeinen Betriebserlaubnis. Die erlaubten Frequenzen liegen im 70-cm-Band bei  $433,92 \pm 0,8$  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. 300 m Entfernung überbrücken, mit Richtantennen > 1 km. In einer bebauten Umgebung, wie in einer Ma-



Modulare MT32 Telemetrie-Encoder.

schinenhalle, wirken sich Dämpfung und Reflexion auf das Funkfeld aus, und die Entfernungen können kürzer ausfallen.

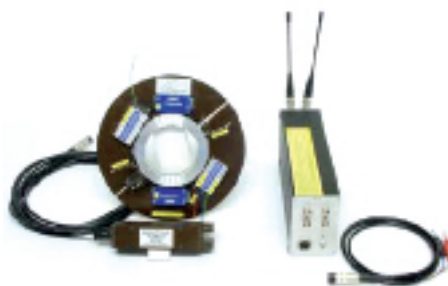
**Neue Wege - Telemetrie benutzt WLAN-Standard**

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), die über eine standardisierte WLAN-Verbindung kontinuierlich kleinere Datenpakete senden und empfangsseitig auf Korrektheit überprüfen.



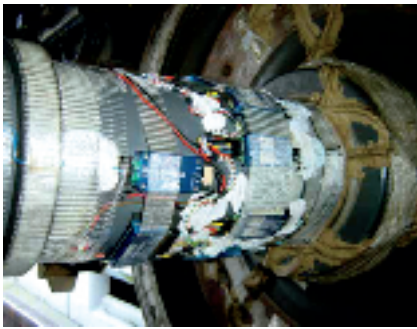
WLAN-Telemetrie: Über eine standardisierte WLAN-Verbindung werden kontinuierlich kleinere Datenpakete gesendet und empfangsseitig auf Korrektheit geprüft.



Telemetriesystem zur Übertragung von zwei TTL Impulsen von der rotierenden Welle einer Kabelverseilmachine für Datenleitungen.



Telemetrische Datenerfassung in der Prothetik: Erfassung von Kräften und Momenten an Prothesen, die sich im täglichen Gebrauch befinden.



**Messung im Bahnbetrieb: Messung von Kräften zwischen Rad und Schiene mit den Mini-Telemetriemodulen (Bombardier Transportation, Portugal).**



**Sky-Train am Flughafen Düsseldorf: 6-Kanal-Telemetrie zur Messung von Radkräften an den Führungsrollen der Schwebbahn.**

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.

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.

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 Empfangsseite 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.

### KENNZIFFER 177

TMS Telemetrie-Messtechnik Schnorrenberg  
[www.telemetry-world.com](http://www.telemetry-world.com)