

# 2010

Ernst & Sohn-Special

Februar 2010  
A 61029

# Messtechnik im Bauwesen

EINGEGANGEN 10. März 2010 /RB



- Geodätische Deformationsmessungen an der Linachtalsperre
- Messverfahren für die Beurteilung der Erdbebensicherheit von Gebäuden
- Künstliche Anregungen zur Prognose von Erschütterungen
- Sonderprüfung von Brückenbauwerken aus Holz
- Messen, Steuern und Regeln im Tunnelbau
- Messen und Aufzeichnen von Feuchte und Temperatur
- Luftdichtheits- und Schadstoffmessungen
- Prüfung von Werkstoffen und Bauteilen

Roman Berger  
Martin Fritz

## Entwicklung der Fernüberwachungssysteme

Das Überwachen des Bauwerkzustandes mit einem Fernüberwachungssystem (Remote Structural Health Monitoring) ist eine sich immer weiter verbreitende Technologie. Bauwerksbesitzer bzw. -betreiber wollen und müssen aus verschiedenen Gründen den Zustand ihrer Bauwerke, sowie deren Lasten und Umwelteinflüsse kennen. In der Praxis werden zumeist bestehende, ältere Gebäude am Ende des Lebenszyklus ausgerüstet. Der Trend geht zusätzlich in Richtung Überwachung neuer Bauwerke, die aufgrund ihrer schieren Größe, schlanken Dimensionen oder der Verwendung von hochmodernen Baustoffen von besonderem Interesse sind.

Wichtigste Aufgabe eines Überwachungssystems ist die Erfassung des Bauwerksverhaltens unter Extrembedingungen (z. B. Sturm, Erdbeben) und das rechtzeitige Erkennen von kritischen Bauwerkszuständen, um durch eine Alarmierung Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Die Alarmierung erfolgt per SMS oder Email, um ein schnellstmögliches Eingreifen zu ermöglichen. Infolge der Fortschritte in der Mess-, Informations- und Übermittlungstechnologie ist es inzwischen möglich, die Datenübertragung vollkommen zu automatisieren und in Echtzeit durchzuführen. Die gemessenen Daten werden benutzerfreundlich direkt im Internet (Web-Interface) zur Verfügung gestellt.

Die Nachfrage aus dem Markt wird mehrheitlich von drei Bedürfnissen bestimmt. Der erste und wichtigste Faktor sind formulierte Zweifel an der Konstitution eines Bauwerkes oder eines spezifischen Bauteiles. Die zweite Anwendung ist im statistischen Bereich bzw. im Bereich der Forschung und Entwicklung, in welchem der Endkunde Daten für analytische Zwecke verwenden möchte. Drittes Bedürfnis ist die Optimierung der Lebenszykluskosten bzw. die Verlängerung der Nutzungsdauer von Bauwerken. Die Optimierung der Lebenszykluskosten, welche sich aus Erstellungskosten, der Überwachung in der Nutzungsphase und dem Unterhalt zusammensetzen, hat stark an Bedeutung gewonnen.

Heutige Neubauten werden mit einer Zielnutzungsdauer von 80 bis 120 Jahren konzipiert. Die Zuverlässigkeit, Robustheit und Langlebigkeit der Überwachung ist Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Einbindung in den Lebenszyklusprozess. Die Folge sind hohe Anforderungen an die Messtechnologie, insbesondere der Sensoren und deren Schutzvorrichtungen, die teilweise an exponierten Stellen montiert werden. Außerdem sollen die Systeme von Dritten nicht wahrgenommen werden, um Vandalismus und Diebstahl vorzubeugen.

Für eine hohe Akzeptanz bei den nicht auf Messtechnik spezialisierten Kunden muss die Interaktion des Systems zum Kunden einfach gehalten werden. Der Kunde soll die grundlegenden Funktionen und Unterhaltsarbeiten, soweit überhaupt erforderlich, selbst durchführen können. Die Fähigkeit zur Selbstdiagnose und Fernwartung sollte gewährleistet sein.

Bei den heutigen Fernüberwachungssystemen unterscheidet man im Wesentlichen drei Bauarten, welche jeweils auf die spezifischen Anwendungen und Kundenbedürfnisse abgestimmt werden. Die portablen Systeme wurden für den temporären Messeinsatz entwickelt und beinhalten die wichtigsten Sensoren für den zeitlich begrenzten Baustelleneinsatz. Sie sind jederzeit für Folgemessungen einsetzbar. Bei langfristigen Messungen stehen den Kunden einfache Basissysteme zur Verfügung, die aus ökonomischen Gründen bezüglich Mess- und Übertragungsleistung limitiert sind. Für eine Mehrheit der oben genannten Anwendungen können Lösungen mit einem Basissystem angeboten werden. Hochentwickelte Systeme für Langzeitmessungen bieten die Möglichkeit der Integration einer höheren Anzahl Sensoren, höhere Messdatenraten und demzufolge umfangreichere Auswertungen, insbesondere bei dynamischen Analysen von Tragwerken, wie z. B. Schrägseilbrücken.

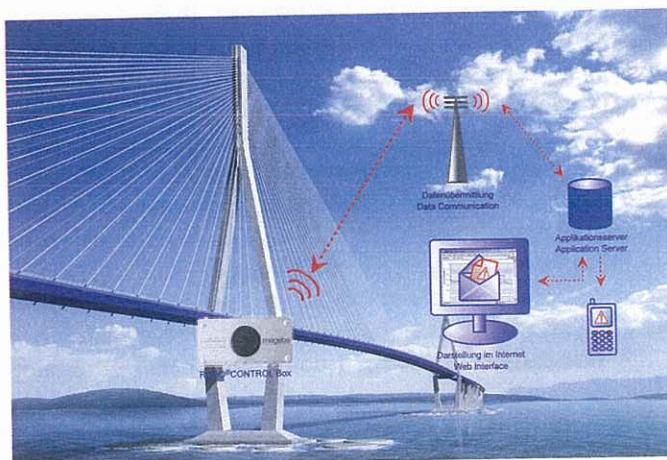


Bild 1. Schematische Darstellung eines Fernüberwachungssystems



Bild 2. Incheon-Brücke Seoul/Südkorea

## Anwendung an der Incheon Brücke – Korea

Die Incheon Brücke in Südkorea ist insgesamt 12,3 km lang. Hauptbauwerk ist eine Schrägseilbrücke mit einer Spannweite von 800 m. Das 33,4 m breite Brückendeck liegt 74 m über dem Wasserspiegel und überbrückt die Hauptschiffsrouten in den Incheon Hafen von Seoul. Die Brücke verbindet seit Oktober 2009 den neuen internationalen Flughafen von Seoul auf Yongjing Island mit der Hauptstadt von Südkorea.

Aufgrund der Größe des Tragwerks (Hauptspannweite 800 m) und der zu erwartenden Bewegungen wurde eine Lamellenfuge mit einer maximalen Bewegungskapazität von 2,0 m eingebaut. Diese Fugen haben die Funktion, die ständige Öffnung des Brückendeckes zu den Anschlussbauteilen sicherzustellen. Sie müssen millionenfach wiederholende Verkehrslasten und die Temperatureinwirkungen aufnehmen, d. h. es resultieren Bewegungen in allen drei Richtungen und Verdrehungen in drei Achsen.

Lamellenfugen dieser Dimensionen sind komplexe Stahlbauwerke mit einer Großzahl beweglicher Teile. Ihre Funktion muss aus Sicherheitsgründen bei Bauwerken dieser Wichtigkeit jederzeit gewährleistet werden. Die Bewegungskarakteristiken der Fuge sind äußerst komplex und aufgrund der Größe schwierig vorzusagen. Aus diesem Grunde wünschte der Kunde eine automatisierte Überwachung der Bauwerksfuge mit permanenter Übermittlung von Echtzeitinformationen, um das Verhalten des Brückendeckes und der Lamellenfuge überwachen zu können.

### Verwendete Messtechnologien

Das an der Incheon Brücke eingebaute System Robo<sup>®</sup>Control wurde für langfristige Messungen ohne externe Stromversorgung entwickelt. Es misst in regelmäßigen Abständen die Bewegungen und Verdrehungen am Bauteil und übermittelt die Daten mittels UMTS-Datenübertragung an ein zentrales Computer-System. Danach werden die Daten aufbereitet und dem Benutzer zur Verfügung gestellt. Die Messdaten können sowohl im Internet über ein Webinterface betrachtet, als auch als CSV- oder XLS-Datei heruntergeladen werden.

Prioritär ist die Erfassung der Bewegung der Fahrbahnübergänge in Brückenlängsrichtung. Dazu werden das Gesamtspaltmaß und die Einzelbewegungen der ersten, zweiten und letzten Lamelle gemessen. Die Abstandsmessung erfolgt mittels Ultraschallsensoren. Um eine qualitativ hochwertige Messung garantieren zu können, wurden die Ultraschallsensoren wind- und nässegeschützt montiert.

Mit vier Temperatursensoren an verschiedenen Stellen können Rückschlüsse über die Temperatureinflüsse auf das Bauwerk gezogen werden. Dabei handelt es sich um zwei Bauwerksfühler, sowie einen Innen- und einen Außen-Temperaturfühler mit einer Auflösung von 1/100 °C.

Die Besonderheit und Herausforderung beim realisierten System stellt die energetisch autarke Umsetzung mittels Solarpanel und Bufferbatterie dar, sowie die funkbasierte Anbindung ans Internet. Mittels spezieller Nied-



Bild 3. Montage der Lamellenfuge

rigenergie-technologie und einer „Power-on-Measurement“-Strategie können die Messungen ausgeführt und per UMTS übertragen werden.

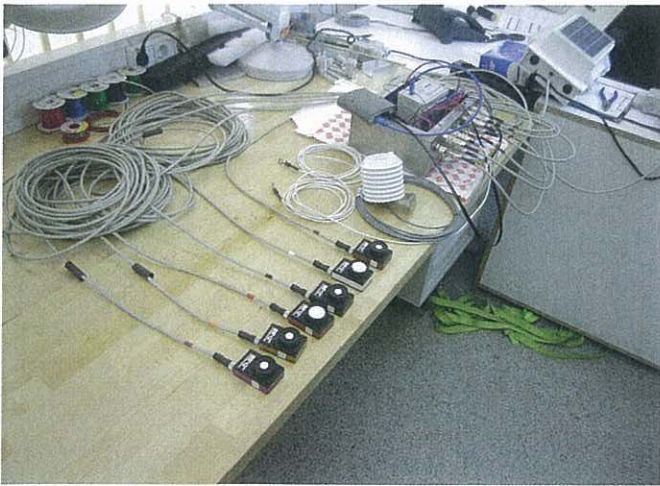
Südkorea verfügt über kein GPRS-Netz, es existiert aber ein auf CDMA basiertes 3G-Mobilfunkstandardnetz UMTS. Für diese Anforderungen musste ein neuer Datenlogger entwickelt werden. Der Controller wurde derart konfiguriert, dass die Datenübertragung in periodischen Intervallen erfolgt, wobei das Modem zur Minimierung des Energiebedarfs in den Zwischenphasen abgeschaltet wird. Der Datentransfer erfolgt verschlüsselt, außerdem sind die Messdaten mit einem Überprüfungsmodus versehen, so dass die Herkunft und Vollständigkeit der Daten kontrolliert werden.

### Erste Auswertungen von gemessenen Daten

Da die Brücke erst Ende Oktober 2009 eröffnet und für den Verkehr freigegeben wurde, werden aktuell erst die Verschiebungen infolge der Temperatureinflüsse gemessen. Die Gesamtverschiebungen infolge der Temperaturen sind in den erwarteten Größenordnungen, das Betondeck zeigt somit ein „gutmütiges“ Verhalten. Der Sensor misst bei einer Temperaturschwankung von 10 °C eine Distanzänderung von 16,3 cm, was einem Temperatur-Weg-Verhältnis von 16,3 mm/K entspricht. Ebenfalls deutlich zu erkennen sind die Verschiebungen der einzelnen Lamellen. Sie haben unterschiedliche Temperatur-Weg-Verhältnisse im Bereich von 2,4 mm/K und 4,7 mm/K. Damit kann die Lamellenverschiebung der Einzellamellen in Abhängigkeit von der Temperatur gezeigt werden. Somit kann eine Fehlfunktion oder Blockade einzelner Lamellen ausgeschlossen werden.

### Nutzen und Vorteile eines Fernüberwachungssystems

Die Überwachung an der Incheon-Brücke erfolgt vollständig automatisiert. Die gemessenen Daten werden vom Endnutzer über einen Internet-Zugang abgefragt. Somit ist seine Präsenz auf der Brücke für eine visuelle Kontrolle bei der schwer zugänglichen Fuge nicht mehr notwendig. Dies führt zu einer erheblichen Einsparung von Arbeits-



**Bild 4.** Vormontage der Systemkomponenten im Werk

zeit und Arbeitsweg. Die Daten sind im Internet mit jedem Standardwebbrowser (Internet-Explorer, Firefox, etc.) abrufbar. Für den Benutzer ist keine Anschaffung von spezifischer Soft- oder Hardware notwendig. Die Alarmierung bei Überschreitung der Grenzwerte erfolgt nach vordefinierten Schemen via SMS und/oder Email und erreicht autorisierte Personen innerhalb kürzest möglicher Zeit. Die Stromversorgung wird mit Solarstrom sichergestellt, wodurch die Überwachung unabhängig vom lokalen Stromnetz durchgeführt werden kann.

#### Ausblick und Vision

Die Anforderungen an die Messtechnologie sind mit den praxisorientierten Anwendungen gestiegen und diese Tendenz wird sich weiter verstärken. Der Fokus der Weiterentwicklung sollte infolge der Erfahrungen aus der Praxis auf den Bereichen der Langlebigkeit der Systemteile liegen, da diese entscheidend für die Nutzbarkeit der Daten ist.

Aus kommerzieller Sicht ist die größte Herausforderung, das Bedürfnis der einzelnen Kunden nach einer

maßgeschneiderten Projektlösung mit den ökonomischen Faktoren der Standardisierung und Skalierung von Produkten zu vereinigen. In der Produktentwicklung wird zurzeit verstärkt in Richtung der drahtlosen Datenübertragung geforscht. Besonders bei Anwendungen mit langen Distanzen und einer hohen Anzahl Sensoren wird ein Drahtlos-Netz das Verlegen von tausenden Metern Kabeln ersetzen. Entscheidend für den Erfolg dieser Produktgruppe wird sein, wie sich die Herausforderung der autonomen Stromversorgung der Sensoren lösen lässt. Verlässliche Sensoren werden in den nächsten Jahren auf dem Markt erwartet.

Der Entwicklungsstand der Messtechnik erlaubt eine kostengünstige Erfassung einer Vielzahl von Parametern mit höchster Präzision. Für den Endbenutzer ist eine adäquate Analyse und Aufbereitung der Messresultate zur optimalen Nutzung von besonderer Bedeutung. Höchste Priorität bei der Konzeption und Planung eines Überwachungssystems soll daher auf die Übersetzung des vom Kunden erwarteten System-Outputs in ein adäquates, kundenorientiertes System gelegt werden.

#### Literatur

[1] Wenzel, Helmut: Health Monitoring of Bridges. Weinheim 2009.

Weitere Informationen:

Roman Berger, Bauingenieur ETH/MBA ETH,  
Head Monitoring & Seismic Devices, mageba Schweiz,  
Solistrasse 68, CH-8180 Bülach,  
Tel. +41 44 872 40 50,  
rberger@mageba.ch, www.mageba.ch

Martin Fritz, Dipl. Ing. FH,  
Projektingenieur Messtechnologie, VCE Holding GmbH,  
Hadikgasse 60, A-1140 Wien,  
Tel. +43 1 897 14 27,  
fritz@vce.at, www.vce.at