

KURZBERICHT zum Forschungsvorhaben (SWD-10.08.18.7-15.35)

Titel

Langfassung Titel: „Effizientes Bauwerksmonitoring mit MEMS-Neigungssensoren und Mikrocontrollern“

Anlass / Ausgangslage

Bauwerke sind verschiedenen Umwelteinflüssen und Schädigungsmechanismen ausgesetzt und erfordern daher regelmäßige Überprüfungen. Zur Erfassung des Tragwerkszustandes können sensorbasierte Monitoringsysteme eingesetzt werden. Diese Messsysteme sind bisher sehr teuer und erfordern Expertenwissen, sodass das Monitoring nur ausgewählten Tragwerken (z.B.: Brücken) vorbehalten ist. Bestandsbauwerke bedürfen infolge intensiver Beanspruchung aber auch der kontinuierlichen Überwachung.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden wissenschaftliche und anwendungsbezogene Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Einsatz von kostengünstigen Neigungssensoren und Mikrocomputern zur effizienten Bauwerksüberwachung bearbeitet. Ziel des Forschungsprojektes war es, ein sensorbasiertes Messsystem zu entwickeln, das zukünftig für die Tragwerksüberwachung von Bestandsbauwerken eingesetzt werden kann. Neuartige, auf der MEMS-Technologie basierende Sensoren und moderne Mikrocomputer (Raspberry Pi) bildeten dabei die Grundlage des innovativen Monitoringsystems.

Mithilfe der MEMS-Neigungssensoren können lokale Verdrehungen am Tragwerk erfasst werden, um daraus nachfolgend die Belastung oder den Beanspruchungszustand des Tragwerks unter Verwendung mechanischer Zusammenhänge zu ermitteln. Zunächst wurden mögliche Einsatzszenarien identifiziert, bei denen Monitoring mithilfe von Neigungsmessungen sinnvoll anwendbar ist: die Anwendung für den sicheren Betrieb von Gebäuden (z.B. Dachtragwerke von Industriehallen), Einsatz an historischen Bauwerken (z.B. Schiefstellung von Türmen) und in Risikogebieten für geotechnische Ereignisse (z.B. Erdfallgebiete). Typische Bauwerke wurden abgeleitet und erforderliche Genauigkeiten der Neigungserfassung definiert. Die aufzulösenden Neigungen liegen dabei im Bereich weniger Milligrad. Um die Genauigkeit der vom Projektpartner First Sensor entwickelten Neigungssensoren zu untersuchen, wurden umfangreiche Laboruntersuchungen durchgeführt. Die Anpassung der Sensorik an den Einsatz im Bauwerksmonitoring erfolgte in mehreren Iterationen. Dabei wurden die Sensoren in geeignete Gehäuse integriert und der Einfluss der Kapselung bezüglich der erreichbaren Datenqualität und Langzeitstabilität untersucht.

Kritische Lastzustände von Tragwerken können unter Anwendung der mechanischen Zusammenhänge und mittels verschiedener Annahmen zum Systemverhalten aus Verformungsmessungen detektiert werden. Zur quantitativen Bewertung verschiedener Anordnungen der Sensoren am Bauwerk wurde eine Methodik entwickelt, die auf der Identifikation mechanischer Zielgrößen wie Biegemomenten, Spannungen und Durchbiegungen basiert, über die kritische Zustände beschrieben werden können. Die Unsicherheit in den real auftretenden Lasten wurde dabei berücksichtigt. Die Methodik eignet sich zur Bestimmung optimaler Sensoranordnungen.

Während des Forschungsprojektes wurde ein prototypisches Messsystem auf Basis eines Einplatinen-Computers (Raspberry Pi) in mehreren Ausbaustufen entwickelt. Das zugrundeliegende Betriebssystem ist Raspbian, eine vom Hersteller empfohlene Linux Distribution. Für die kontinuierliche Erfassung, die strukturierte Speicherung und die Verarbeitung von Messdaten wurde ein modular aufgebautes Software-Framework entwickelt. Neben der Verwirklichung der Messaufgabe stand dabei die Verlässlichkeit des Systems im Fokus. Das Zusammenwirken des Messsystems und der Sensorik wurde in mehreren Kurzzeit- und Langzeitmessungen untersucht. Dabei wurde bei Kurzzeitmessungen an einem Biegebalken die Genauigkeit und bei Langzeitmessungen die Temperaturstabilität untersucht.

Das entwickelte Messsystem wurde an zwei Referenzobjekten installiert, um die Praxistauglichkeit unter realen Einsatzbedingungen nachzuweisen. Als Referenzobjekte wurden eine Industriehalle, bei der das Dachtragwerk zu überwachen war, und ein Kirchturm, bei dem die langfristige Veränderung der Schiefstellung zu überwachen war, gewählt. Das Anwendungspotential, aber auch die Grenzen für diese neue Generation effizienter Monitoringsysteme konnten dabei aufgezeigt werden. Insbesondere bei Kurzzeitmessungen können lokale Verdrehungen an einer Tragstruktur durch das entwickelte Messsystem mit einer hohen Genauigkeit erfasst werden. Die unter Anwendung einer Temperaturkompensation messbaren Neigungsänderungen erlauben die Detektion schon kleinster Belastungseffekte. Vor allem bei der Anwendung für Langzeitmessungen bestehen noch erhebliche Herausforderungen. Während sich die Komponenten des Systems auch unter widrigen Umgebungsbedingungen als dauerhaft einsatzfähig erwiesen haben, führen insbesondere Driteffekte des Sensorsignals zu großen Unschärfen. Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Stabilität des Sensors sind daher notwendig.

Fazit

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein prototypisches, modulares Messsystems zur sensorbasierten Überwachung von Tragwerken auf Basis der Neigungsmessung entwickelt. In Kurzzeitmessungen wird die erforderliche Genauigkeit für die typischen Anwendungen des Bauwerksmonitorings bereits erreicht. Bei Langzeitmessungen wird diese zum aktuellen Zeitpunkt von den hier untersuchten Sensorprototypen noch nicht erreicht. Weitere Material- und Komponentenoptimierungen sind insbesondere zur Sicherung der erforderlichen sensorseitigen Langzeitstabilität erforderlich. Dennoch hat diese neue Generation kompakter und kostengünstiger Monitoringsysteme ein großes Potential neue Anwendungsfelder hin zu konventionellen Bauwerken zu erschließen.

Eckdaten

Kurztitel: Monitoring mit Neigungssensoren

Forscher / Projektleitung: Prof. Dr. Guido Morgenthal (Projektleiter, Bauhaus-Universität Weimar, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Professur Modellierung und Simulation – Konstruktion)
Sebastian Rau MSc (Forscher, Bauhaus-Universität Weimar)
Dipl.-Ing. Markus Nowack (Forscher, First Sensor AG)

Gesamtkosten: 191.856,00 € €

Anteil Bundeszuschuss: 104.963,00 €

Projektlaufzeit: 26 Monate

BILDER/ ABBILDUNGEN:

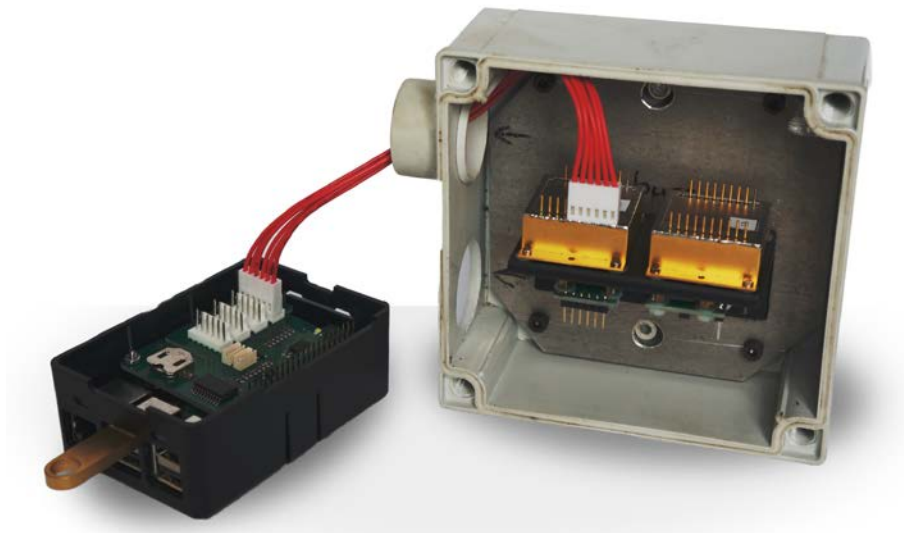


Bild 1: Prototypisch entwickeltes Messsystem bestehend aus Mikrocomputer (Raspberry Pi, links) und Neigungssensoren (goldenes Gehäuse, rechts)



Bild 2: Kurzzeitmessung bei einem 3-Punkt-Biegeversuch an einem Stahlbetonbalken



Bild 3: Versuchsaufbau zur Langzeitmessung im Messkeller



Bild 4: Installiertes Neigungsmesssystem am Referenzobjekt Kirchturm



Bild 5: Installiertes Messsystem am Dachtragwerk einer Industriehalle