



◀ **SCHWINGUNGEN** gibt es überall in der Natur – aber der Ingenieur muss wissen: wann, wo und wie stark. Dabei helfen ihm automatische Monitoringsysteme, deren Nützlichkeit nicht überschätzt werden kann. Unser Foto zeigt einen beleuchteten schwingenden Faden im Science Center Phaeno in Wolfsburg.

Dirk Hermsmeyer | Anette Rietdorf

Alles auf der Erde bewegt sich. Gebäude und Dämme senken sich, Brücken biegen sich und schwingen, Felsen verschieben sich, Erdmassen und Hänge rutschen, Gletscher bewegen sich, Vulkane brechen aus. Ob es von Menschen geschaffene oder natürliche Objekte sind: Unsere Welt unterliegt ständigen Bewegungen und Veränderungen.

Unser Alltag hängt von der Stabilität wichtiger Infrastruktureinrichtungen ab. In der Praxis stehen Bauingenieuren, Tragwerksplanern, Geodäten und Geologen zuverlässige Lösungen zur automatisierten Beobachtung von Bewegungen und Deformationen zur Verfügung. Mit Überwachungssystemen können gefährdete Objekte rund um die Uhr beobachtet werden. Unternehmen können etwaige Risiken vor, während und nach einem Bauprojekt minimieren, indem sie fortlaufend Überwachungsmessungen durchführen. Potenzielle Gefahren können frühzeitig erkannt und Schritte zur Abwendung kritischer Situationen eingeleitet werden.

Die Beobachtung natürlicher oder vom Menschen gemachter Objekte findet im Rahmen routinemäßiger Kontrollen oder aus besonderem Anlass statt. Ein Beispiel ist die Brückenprüfung nach DIN 1076 zur Erfassung des Ist-Zustands und frühzeitigen Schadenserkennung. Brücken werden in regelmäßigem Turnus geprüft, aber auch während oder nach besonderen Ereignissen, z. B. bei Baumaßnahmen, nach Erdbeben, Hochwassern, schweren Stürmen oder Unfällen.

Aber nicht nur an Brücken, sondern an allen Arten natürlicher und künstlich angelegter Objekte (Tunnel, Hochhäuser, Türme, Masten, Dämme, Deponien, Verkehrswege, Hänge und Böschungen) besteht Bedarf an Überwachung tatsächlicher oder erwarteter Bewegungen.

Sichtprüfungen geben dem sachkundigen Ingenieur, der die statisch-konstruktiven Verhältnisse des Objektes zu bewerten weiß, zahlreiche Informationen. Allerdings kann die rein visuelle Inspektion dazu führen, dass Schwachstellen unentdeckt bleiben. Automatisiertes Monitoring führt zur Objektivierung einer ansonsten subjektiven visuellen Inspektion. Daher müssen bei der Prüfung auch Hilfsgeräte eingesetzt werden. Ständig wechselnde Bedingungen von Bauart, System, Alter oder Baustoff verlangen

Täglich rund um die Uhr

Automatisierte Monitoringsysteme leisten der Risiko-Früherkennung unschätzbare Dienste

Weil nicht nur alles fließt, sondern vieles sich auch beständig bewegt und schwingt, sind dem Ingenieur die Kenntnisse solcher Bewegungen und Schwingungen immer dann besonders wichtig, wenn sie Veränderungen oder Deformationen hervorzurufen drohen, die das beeinträchtigen oder zerstören könnten, was er geplant und konstruiert hat. Derartige Veränderungen kann man vermessungstechnisch manuell eruieren – oder aber mit automatisierten Monitoringsystemen, die rund um die Uhr arbeiten und kontinuierlich ihre Daten liefern. Weil solche Systeme immer häufiger nachgefragt werden, beschreiben wir im folgenden Beitrag ihre Vorzüge im Vergleich zur manuellen Vermessung.



Dirk Hermsmeyer
 Dr. rer. nat.; seit 2006 für die Allsat Gruppe (30159 Hannover) in den Bereichen Dienstleistungen, Vertrieb und Projektmanagement tätig.
dirk.hermsmeyer@allsat.de



Anette Rietdorf
 Diplom-Ingenieurin der Geodäsie; seit 1996 bei der Allsat-Gruppe (30150 Hannover) tätig, speziell für das Monitoring von Bewegungen und Deformationen.

vom Prüflingenieur Anpassungsvermögen. An die verwendeten Hilfs- und Messgeräte ergeben sich Forderungen nach Flexibilität, Skalierbarkeit und individueller Konfigurierbarkeit. Dies gilt auch für Monitoringsysteme.

Die Ziele von Monitoringmaßnahmen sind so unterschiedlich wie die beobachteten Objekte. Beispiele sind die Schätzung der Restnutzungsdauer bestehender Bauwerke und die Beweissicherung an sensiblen Objekten auf Baustellen oder im angrenzenden Bereich, z. B. neben Baugruben oder während der Unterfahrung mit einer Tunnelbohrmaschine. An Schienen- und Straßenwegen gewährleisten Monitoringmaßnahmen während der Bauausführung die Verkehrssicherheit. Ein gründliches und verlässliches Monitoring kritischer Objekte ist unter Sicherheitsaspekten, aus ökonomischer Sicht und im Zuge der Qualitätssicherung geboten.

Anforderungen an die Messtechnik

Die Überwachung von Bauwerken und Gefährdungsgebieten gewinnt zunehmend an Bedeutung. Repräsentative Punkte eines Objektes oder Gebietes werden periodisch und automatisiert vermessen. Um gefährliche Bewegungen aufzuzeigen, erfordern viele Fälle die sofortige Analyse der erfassten Messdaten. Meldungen müssen verzögerungsfrei ausgelöst werden. Mo-

onitoringaufgaben zählen daher zu den anspruchsvollsten Herausforderungen der Vermessungspraxis. Gefordert sind höchste Genauigkeit, maximale Zuverlässigkeit der Messsensoren, ein automatischer Messablauf und hochflexible Auswerte- und Analyseverfahren.

Je nach dem zu beobachtenden Objekt müssen unterschiedliche Messgrößen erfasst werden. So kann die Neigung eines Turms womöglich mithilfe von Neigungssensoren an dessen Gründung verlässlich beobachtet werden. Die Bewegung einer Bahnschiene lässt sich dagegen eher durch Spiegelprismen verfolgen, deren Position wiederholt von einem Tachymeter gemessen wird.

Besonders effektiv werden viele Monitoringaufgaben gelöst, wenn unterschiedliche Sensoren (zum Beispiel geodätische und geotechnische Sensoren) in ein System integriert werden. Zudem ist es nützlich, wenn auch meteorologische Daten erfasst werden. Dies erleichtert die Dateninterpretation erheblich, da Objektbewegungen häufig auch aus Schwankungen der Temperatur oder Luftfeuchte resultieren.

Flexibilität, Skalierbarkeit und individuelle Konfigurierbarkeit eines Monitoringsystems werden am besten mit standardisierten Schnittstellen und einer offenen Softwarearchitektur erreicht. Erfüllt das System diese Forderungen, so können Lösungen in der Regel auf die individuellen Anforderungen eines jeden Monitoring-

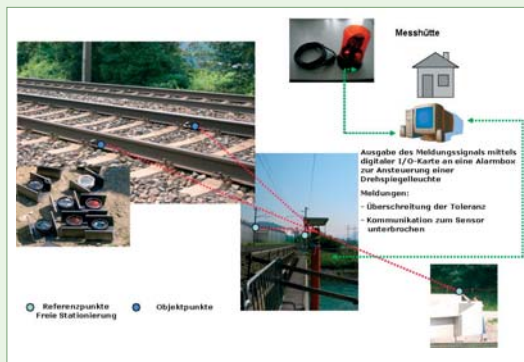


Abb.1: Typische Komponenten eines Monitoring-Systems

Leica Geosystems



▲ Abb. 2: Übersicht Tunnelbaustelle Jenbachtal



▶ Abb. 3: Monitoringsystem Gleisüberwachung Jenbachtal

Projektes zugeschnitten werden – sowohl für permanente als auch für temporäre Installationen, für Einzelanwendungen oder für den Betrieb im Netzwerk.

Zu den Komponenten flexibler Monitoringsysteme (Abb. 1) gehören also geodätische, geotechnische und gegebenenfalls weitere Sensoren, Software für das Datenmanagement, die Datenauswertung und die Datenanalyse, eine Stromversorgung, Einrichtungen für die Datenkommunikation und ein System für die Benachrichtigung der Einsatzzentrale bei Toleranzwertüberschreitungen.

Die Messtechnik muss den Bedingungen des langfristigen, sicheren Einsatzes im Außenraum genügen (in-situ-Messungen). Die Sensoren sollen zerstörungsfrei, hochgenau, schnell, und gegebenenfalls auch berührungslos und rückwirkungsfrei arbeiten. Die Messtechnik muss robust sein gegenüber Witterungseinflüssen, Erschütterungen, Verschmutzung oder elektrischer Beeinflussung. Gegebenenfalls ist die Messtechnik redundant anzulegen, da ein Ersatz bei Ausfall zum Beispiel an schwer zugänglichen Brücken im fließenden Verkehr unmöglich sein kann.

Insbesondere im 24-Stundenbetrieb sollten die Daten vom Messort per Datenfernübertragung an einen im Büro installierten PC übertragen werden (Online-Monitoring, über Kabel oder drahtlos per Funk, GSM/GPRS, WLAN o.ä.).

Wichtig bei der Überwachung sicherheitsrelevanter Konstruktionen ist das sogenannte Fail-Safe-Verhalten des Systems: Ein Alarm sollte nicht nur beim Überschreiten vorab definierter Toleranzen einer Messwertänderung abgesetzt werden, sondern auch bei Systemfehlern wie Stromausfall oder Abriss der Datenkommunikation (Event-Management).

Warnmeldungen sollten auf unterschiedliche Art und Weise absetzbar sein. Um einen

Maschinenführer auf der Baustelle zu warnen, kann z. B. eine Warnleuchte oder Sirene ausgelöst werden. Es sollte aber auch eine Benachrichtigung des Projektbüros oder eines Mitarbeiters in Bereitschaft möglich sein, etwa per E-Mail oder SMS.

Auswahl der Messmethoden und Messtechnik

Der Praxis steht ein breites Spektrum hochpräziser Messgeräte zur Verfügung. Neben klassischen Instrumenten sind oft spezielle Sensoren hinzuzuziehen. Verfügbar sind konventionelle Vermessungsgeräte wie Tachymeter und digitale Nivelliere ebenso wie GPS bzw. GNSS-Empfänger (Global Navigation Satellite Systems), Neigungssensoren, Extensometer, Schlauchwaagen und meteorologische Sensoren. Die Instrumente werden über eine flexible, modular aufgebaute Software konfiguriert und verwaltet.

Für das Online-Monitoring ist zunächst eine Mess- und Auswertestrategie zu entwickeln, die eine sichere Vorhersage des Bauwerksverhaltens, seines derzeitigen und zukünftigen Zustandes erlaubt. Hierbei sind Fragen zu klären nach den zu überwachenden Schwachstellen, nach bestehenden oder nicht bestehenden Sichtverbindungen und den erforderlichen Sensoren:

- Welche Punkte müssen mit welcher Genauigkeit wie oft überprüft werden (Festlegung von Objektpunkten und Messintervallen)?
- Welche Festpunkte in der Objektumgebung sind einzubeziehen (zum Beispiel als Tachymeterstandorte)?
- Besteht Sichtverbindung zwischen Festpunkten und Objektpunkten?
- Welche Bewegungen in welchem Zeitraum sind als kritisch einzustufen (Definition der Toleranzbereiche für jeden Objektpunkt)?
- Welche Sensoren sind erforderlich, welche stehen unter Umständen bereits aus

vorherigen Projekten zur Verfügung?

- Welche Kommunikationseinrichtungen sind erforderlich, welche gegebenenfalls bereits vorhanden?
- Ist eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) erforderlich?
- Wie werden Messablauf und Informationsfluss organisiert?
- Wer muss wann informiert werden?
- Welche Maßnahmen sind gegebenenfalls einzuleiten?

Ist das Konzept erstellt, so wird im nächsten Schritt das Monitoringsystem eingerichtet. Bevor Hardware, Software, Stromversorgung und Kommunikationskomponenten installiert werden, sind hierbei die Festpunkte zu gründen. Gegebenenfalls ist an eine Diebstahlsicherung zu denken. Auf die Installation folgen Feineinstellung und Betrieb des Systems sowie das Informationsmanagement inklusive Dateninterpretation und –auswertung. Hierzu gehören auch eine regelmäßige Kontrolle und Wartung des Systems. Gegebenenfalls ist eine Schulung des Bedienpersonals durchzuführen. Der letzte Schritt schließlich besteht aus dem Abbau des Systems nach Abschluss der Arbeiten.

Anwendungsbeispiel: Gleisüberwachung Jenbachtal

Im Zuge des Tunnelbaus zur Erneuerung der Inntal-Autobahn kam bei Jenbach/Wiesing (Nähe Innsbruck, Tirol) auf einer Länge von 3,5 Kilometern eine Tunnelvortriebsmaschine zum Einsatz. Der Tunnel verläuft im Grundwasserbereich nahe des Inns; für weite Baulosabschnitte waren Bodenverbesserungen notwendig. Oberhalb der Tunnelstrecke verläuft eine Hochgeschwindigkeitsstrecke der österreichischen Bahn. Für den Tunnelbau mussten zur Stützung des Gleisbereiches mit speziellen Drilling-Maschinen Bohrungen so platziert werden, dass die kri-

tischen Bereiche des Untergrunds erreicht wurden. Zur Stabilisierung wurde in die Bohrlöcher Flüssigzement injiziert.

Es bestand jedoch die Sorge, dass diese Injektionen auch zu Deformationen (Hebungen) des Gleisstranges führen könnten. Aus Sicherheitsgründen durften Gleisbewegungen in der Vertikalen 1 Zentimeter nicht überschreiten. Während der Bohrungen und Injektionen war daher eine permanente Gleisüberwachung erforderlich (**Abb. 2**).

Das Tiroler Vermessungsbüro DI Weiser-DI Kandler hat mit Unterstützung unserer Allsat GmbH und der Leica Geosystems im Juli 2007 an der Tunnelbaustelle ein System zum automatisierten Bewegungsmonitoring der Bahngleise installiert. Wesentliche Komponenten waren die Monitoring-Software **GeoMoS** (Leica Geosystems) und ein automatisiertes Tachymeter.

GeoMoS ist eine skalierbare und flexible Software mit offener Systemarchitektur. Eine große Auswahl an Totalstationen, GNSS-Empfängern und Digitalnivellieren kann angeschlossen werden. Das Programm führt Messungen mit mehreren Sensoren nach voreingestelltem Zeitplan selbständig durch. Optionen umfassen die Erkennung von Ausreißern, die Datenvalidierung (Messwertanalyse), die Filterung und Nachmessung zur Sicherstellung einer genauen und zuverlässigen Datenerfassung. GeoMoS besteht aus den Modulen „Monitor“ zur kompletten Steuerung und Konfiguration des Systems inklusive erster Visualisierungsfunktionalitäten sowie „Analyzer“ zur Datenanalyse.

Die kritische Zeitspanne, während der eine Gleisbewegung infolge der Baumaßnahmen befürchtet wurde, betrug drei Wochen. Für die automatische Permanentüberwachung (**Abb. 3**) kamen folgende Komponenten zum Einsatz:

- elektronisches, motorisiertes Tachymeter (Totalstation),
- retroreflektierende Tripelprismen,
- Warnleuchte (Drehspiegelleuchte),
- Alarmbox,
- Rechner (PC)
- Software GeoMoS (Module Monitor und Analyzer).

Das Tachymeter (Typ Leica TCA 1800) wurde auf einem stabil gegründeten Messpfeiler in unmittelbarer Gleisnähe installiert (Festpunkt) und mit einem Blechdach geschützt. Die Ansteuerung erfolgte mit der auf dem PC installierten Software. Der PC war in einer Hütte mit Stromversorgung untergebracht. Referenzpunkte zur Stationierung des Festpunkts waren an stabilen Standorten montiert und bereits für Standardmessungen im Zuge des Bauvorhabens verwendet worden.

Etwa 20 Beobachtungspunkte (Objektpunkte) wurden am Fuß der Gleise über eine Gleisstrecke von 100 Metern mit Spiegelprismen markiert und über die dreiwöchige Messperiode alle 20 Minuten vom Tachymeter angesteuert. Die Messungen erfolgten rund um die Uhr im laufenden Bahnverkehr. Bei unterbrochener Sichtverbindung zwischen Tachymeter und Prisma infolge durchfahrender Züge wurde zunächst kein Alarm ausgelöst, sondern das System führte nach Abschluss eines Messzyklus automatisch eine Wiederholungsmessung an den während der Zugdurchfahrt nicht sichtbaren Prismen aus.

Die Ausgabe des Meldungssignals erfolgt mittels digitaler I/O-Karte an eine Alarmbox zur Ansteuerung der Drehspiegelleuchte. Die Systeminstallation erforderte sechs Arbeitsstunden. Danach lief das System vollautomatisch und störungsfrei.

Das System war so eingerichtet, dass Meldungen erfolgten:

- wenn die vorgegebenen Toleranzwerte der Gleisbewegung überschritten wurden,
- wenn die Kommunikation zwischen Rechner und Tachymeter unterbrochen wurde.

Das Monitoringsystem diente der Warnung der Mitarbeiter auf

Messung, manuell	Aufwand	Monitoring, automatisiert	Aufwand
1. Tag	[h]	1. Tag	[h]
Tachymeter aufstellen, Spiegel installieren	2	Tachymeter aufstellen, Spiegel installieren, Software einrichten	6
Durchführung 1. Messung	1	1. Messung zur Einrichtung	1
5 weitere Messungen	2,5	Betreuung, Funktionsprüfung	1
Auswertung: 0,5 h je Messung	3	Auswertung in Echtzeit	0
Summe 1. Tag	8,5	Summe 1. Tag	8
jeder weitere Tag		jeder weitere Tag	
Aufbau Messsystem	0,5	Aufbau (entfällt)	0
8 weitere Messungen	4	Betreuung, Funktionsprüfung	0,5
Auswertung: 0,5 h je Messung	4	Auswertung in Echtzeit	0
Summe, pro Tag	8,5	Summe, pro Tag	0,5
Summe, 1. Woche	51	Summe, 1. Woche	10,5
Aufwand	100%	Aufwand, ca.	21%

Tab. 1.: Der Vergleich macht's deutlich: Das automatische Monitoring ist deutlich wirtschaftlicher.

der Baustelle durch die auf dem Dach der Messhütte installierte Warnleuchte. Möglich ist jedoch auch eine Fernwarnung per SMS oder E-Mail.

Wirtschaftlichkeit

Die Installation ersetzt umfangreiche manuelle Messungen, die nur zu diskreten Zeitpunkten durchführbar gewesen wären. Mithilfe des Monitoringsystems wurde dagegen eine kontinuierliche Überwachung der Gleise bei geringem Personaleinsatz erreicht **Tabelle 1.**

In einem Aufwandsvergleich manuelle Vermessung vs. automatisiertes Monitoring wird der zeitliche und damit monetäre Vorteil des automatisierten Verfahrens deutlich (siehe Tabelle). Wir gehen von einer Baustelle wie im Anwendungsbeispiel Jenbachtal aus, auf der über eine Woche tagsüber acht Stunden lang stündlich eine Messung installierter Prismen mit einem Tachymeter händisch durchgeführt wird.

Am ersten Arbeitstag nimmt die Einrichtung des Monitoringsystems mehr Zeit in Anspruch als die manuelle Messung. Allerdings kann infolge der automatisierten Auswertung bereits am ersten Tag etwas Zeit gegenüber dem händischen Verfahren eingespart werden. Ab dem zweiten Tag sollte lediglich täglich eine Kontrolle der Systemfunktionen erfolgen (Aufwand ca. 0,5 Stunden), der ausführende Ingenieur kann be-

reits überwiegend für andere Arbeiten eingesetzt werden.

Bei einer einwöchigen Projektdauer ermöglicht das automatisierte Verfahren nach unseren Annahmen bereits eine Zeitersparnis von beinahe 80 Prozent. Die Anschaffungskosten dürften daher sehr schnell amortisiert sein. Dies gilt umso mehr, als vielerorts bereits Sensoren (z. B. Tachymeter) zum Einsatz

kommen, die in das System integrierbar sind. Häufig müssen somit nur Teilkomponenten (z. B. Software, Kommunikationseinrichtungen) zusätzlich angeschafft werden.


Zahlreiche Überwachungen erfordern eine Beobachtung über 24 Stunden. Die Automatisierung bietet hier einen weiteren Vorteil gegenüber der händischen Vermessung. Zudem können die Inspektionsintervalle im automatisierten System sogar deutlich kürzer eingestellt werden als im händischen Verfahren möglich (z. B. auf 20 Minuten).

Zusammenfassung

Mit automatisierten Monitoringsystemen stehen zuverlässige Lösungen zur Beobachtung der Bewegung und Deformation natürlicher und vom Menschen gemachter Objekte zur Verfügung.

Sie

- tragen zur Reduzierung von Risiken bei,
- überwachen rund um die Uhr gefährdete Bauwerke und Naturereignisse,
- sind flexibel und skalierbar,
- bieten eine einheitliche Lösung und unterstützen Totalstationen, GPS, Nivelliere und geotechnische Sensoren für ein allumfassendes Verständnis struktureller Bewegungen.

Der Einsatz von Monitoringsystemen erfordert eine gründliche Planung der Systemkonfiguration für jedes individuelle Projekt. Dennoch kann durch ihren Einsatz im Vergleich zur wiederholten händischen Vermessung bereits bei kurzen Projektdauern Arbeitszeit in erheblichem Umfang eingespart werden. 

Thema Monitoring: Kostenfreie Informationsveranstaltung der Ingenieurkammer Niedersachsen

Die Ingenieurkammer Niedersachsen veranstaltet am Nachmittag des 6. Mai in Hannover eine kostenfreie Informationsveranstaltung über die Früherkennung baulicher Risiken und über die Verfahrensweisen, die man für die Bauwerksüberprüfung einsetzen kann. In mehreren Fachvorträgen werden Monitoringsysteme sowie deren Anwendbarkeit in Abhängigkeit von Bauwerken aber auch von meteorologischen Einflüssen und Gefährdungsgebieten vorgestellt. An verschiedenen Objektbeispielen sollen die unterschiedlichen Messtechniken erläutert und deren Nutzen deutlich gemacht werden:

- die GNSS- und TPS-basierte Vermessung (Totalstation, GPS-Vermessung, Base-Rover Prinzip, Post-Processing);
- das Monitoring von Bewegungen und Deformationen von Bauwerken und natürlichen Objekten;
- GNSS-Korrekturdaten aus dem Satelliten-Referenzdienst ascos zur Nutzung im Monitoring;
- Anwendungsbeispiele für das Monitoring von Bewegungen und Deformationen in der Praxis.

► www.ingenieurkammer.de · karin.sacher@ingenieurkammer.de
Fax: 0511/39789-34 · Tel.: 0511/39789-14 (Frau Sacher)