



Bild 1: Prismenansicht

*Ditte Becker, Anette Rietdorf und Jürgen Ruffer*

## ALLSAT® Global Monitoring an einer Spannbetonbrücke

### Einleitung

Der Bau von Brücken stellt von jeher einen Reiz für Bauingenieure dar. Jede Brücke soll spektakulärer, aufwendiger und größer werden. Um dieses ehrgeizige Ziel zu verfolgen, sehen sich Bauingenieure immer wieder neuen Herausforderung bezüglich Material und Bauweise gegenüber.

Die Beanspruchung verschiedener Bauwerke nimmt aufgrund von Verkehrsbelastungen und sich ändernden Witterungsbedingungen immer mehr zu. Dadurch verkürzt sich die einstmals berechnete Lebensdauer immens und die Instandhaltung und Überwachung gewinnt in unserer heutigen Zeit immer mehr an Bedeutung. Die DIN 1076 regelt in Deutschland die Prüfung und Überwachung von Ingenieurbauwerken im Zuge von Straßen und Wegen hinsichtlich ihrer Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit. Der äußere Zustand wird regelmäßig von geschulten Brückenprüfern beurteilt. Werden jedoch Schäden im Inneren des Bauwerks vermutet, sind besondere Verfahren und Messtechniken sowie begleitende Spezialisten erforderlich. Die Auswirkungen von vielen das Bauwerk beeinflussenden Parametern können im Vorfeld berechnet werden. Die tatsächlich wirkenden Einflüsse, und ob diese permanent, periodisch oder nur selten auftreten, können nur modellhaft berücksichtigt werden. Jedoch gerade unerwartete und zeitlich nicht vorhersagbare Veränderungen am Bauwerk können nur durch kontinuierliche Überwachungen erfasst und aufgedeckt werden.

In Deutschland gibt es insgesamt 120.000 Brücken, wovon laut einer Dekra-Studie ca. 14.000 in einem sehr schlechten Zustand sind. Die Kosten für eine Sanierung oder gar einen Neubau all dieser Brücken steigen ins Unermessliche. Aus diesem Grund wird eine Beobachtung des Zustands hinsichtlich der Standfestigkeit und der Verkehrssicherheit offensichtlich geschädigter Brücken unerlässlich, da ein unentdeckter Schaden zu einer vielleicht verheerenden Katastrophe führen kann.

### Monitoring einer Spannbetonbrücke

In den letzten Jahren wächst ganz langsam die Bereitschaft, an sanierungsbedürftigen Brücken – zunächst zur Verlängerung der Nutzungsdauer – neben der Brückenprüfung ein automatisiertes Monitoringsystem einzusetzen. Ein Beispiel dafür ist eine dreißig Jahre alte Spannbetonbrücke, die von den Autoren dieses Artikels permanent beobachtet wird.

Die Brücke ist 70 m lang und zwischen den Richtungsfahrbahnen getrennt. Es handelt sich um einen dreifeldrigen Überbau mit zwei Stützen auf jeder Seite. An der Unterseite des Überbaus befinden sich Kriechkästen. Brückenprüfer haben von außen an diesem Bauwerk einige signifikante Schäden registriert. Es gibt Beschädigungen im Beton, durch den rostige Bewehrungsstähe sichtbar werden. Inwieweit sich diese Schäden nach innen auf die Stahlglieder auswirken oder schon ausgewirkt haben, ist nicht bekannt. Besonders die vorgespannten Stahlglieder bedürfen einer besonderen Beachtung. Diese können aufgrund der vor 30 Jahren üblichen Verarbeitungsmethoden schlagartig reißen und dadurch die Stabilität der Brücke gefährden. Bis zur Sanierung

der Brücke soll ein geo-technisches Monitoring permanent Daten über den Bauwerkszustand aufzeichnen und im Fall signifikanter Deformationen die Fachleute auf den Plan rufen.

ALLSAT wurde mit der Installation eines dauerhaften Monitoringsystems beauftragt, das in einem ersten Schritt das Bewegungsverhalten des Brücken-Überbaus aufzeichnen soll, um daraus mögliche Schlussfolgerungen über den Zustand der Brücke ziehen zu können und bei bedenklich erscheinenden Bewegungen geeignete Maßnahmen zur Sicherung einzuleiten.

Ein schlagartiges Reißen eines Stahlgliedes spiegelt sich laut Aussagen von Brückeningenieuren in einer Durchbiegung des jeweiligen Feldes inklusive des Kriechkastens wieder. In einem solchen Fall muss sofort reagiert werden und Maßnahmen von einem vorläufigen Fahrverbot für Lkws und Schwertransporten bis hin zur sofortigen Sperrung der Brücke müssen eingeleitet werden.

### Sensoren und Stromversorgung

In dem vorgestellten Projekt war die Durchbiegung der einzelnen Brückenfelder (Brückenabschnitte zwischen den Stützen) von besonderem Interesse. Eine gemeinsame Analyse der Realisierungsmöglichkeiten für ein Monitoringsystem an der Brücke mit dem Auftraggeber ergab, dass in jedem Feld auf beiden Fahrbahnseiten ein Beobachtungspunkt montiert und beobachtet wird.

Für die Messung der festgelegten Beobachtungspunkte standen mehrere Sensortypen zur Auswahl. Aufgrund der Aufgabenstellung und der Positionen möglicher maximaler Deformation an dieser Brücke schied der Einsatz von GNSS-Empfängern, Neigungssensoren und Di-

gitalnivellieren als Primär-Sensoren aus. Die Entscheidung fiel zugunsten eines tachymetrischen Monitoring-system, da hierbei mit einem Sensor mehrere relevante Punkte beobachtet werden können. Die kleinste aufzudeckende vertikale Bewegung lag zum Projektbeginn bei 10 mm. Für die signifikante Detektion einer Bewegung in dieser Größenordnung

war ein Tachymeter mit einer Winkelmessgenauigkeit von 0,6mgon und einer Streckenmessgenauigkeit von 1mm erforderlich. Als Hauptsensor wurde daher ein Tachymeter des Typs TCA1202+ der Firma Leica Geosystems gewählt.

Die Durchbiegung der Brückenfelder kann als relative Bewegung des Brückenüberbaus gegenüber den festen Stützen und Widerlager erfasst werden. Das Tachymeter wurde in einem wetter- und vandalismussicheren Stahlschrank in ca. 3 m Höhe am Widerlager der Brücke montiert (Bild 2). Um die Stabilität des Tachymeterstandpunktes überprüfen zu können, wurden zusätzlich zu den sechs Beobachtungspunkten vier Referenzpunkte an den stabilen Brückenstützen sowie an dem gegenüber liegenden Widerlager installiert. Absolute Bewegungen des gesamten Bauwerks konnten in diesem Fall vernachlässigt werden, weshalb keine zusätzlichen Referenzpunkte ausserhalb der Brücke installiert wurden.

Insgesamt beobachtet das Tachymeter also zehn Punkte im Stundentakt (Bild 1), um eine Aussage über das Bewegungsverhalten des Brückenüberbaus treffen zu können. Die Brücke weist eine Gesamthöhe von ca. 10 m auf. Damit war es leicht, die Prismen außerhalb der Reichweite von möglichen Vandalismusversuchen zu montieren. Allerdings wurde für die

Installation der Prismen ein spezieller Hubsteiger benötigt.

Die vor Ort herrschenden meteorologischen Bedingungen können mit erhöhter Luftfeuchtigkeit bis hin zur Nebelbildung durch einen Fluss unterhalb der Brücke beeinträchtigt werden. Da die Messungen eines Tachymeters von den meteorologischen Bedingungen der Umgebung stark beeinflusst werden, wurde zusätzlich ein kombinierter Meteosensor installiert, dessen Messdaten die spätere Interpretation der Tachymeter-Messdaten erleichtern.

Eine spezielle Herausforderung lag in der Stromanbindung der Sensoren. Die nächste Anschlussstelle an das öffentliche Stromnetz ist mehrere Kilometer entfernt und die Verlegung einer festen Leitung hätte die Gesamtkosten für das Monitoringsystem enorm in die Höhe getrieben. Daher musste eine autarke und über mehrere Jahre wartungsfreie Lösung für die Stromversorgung gefunden werden. Man entschied sich in diesem Projekt für die Installation einer Photovoltaik-Inselanlage (Bild 3). Mast und Halterungen der Solar Panels wurden speziell auf das Bauwerk abgestimmt entworfen und von einem Stahlbauunternehmen angefertigt. Die Anlage wurde so dimensioniert, dass auch während der trüben Wintermonate eine Stromversorgung des Monitoringsystems gewährleistet wird.

### Software und Kommunikation

Die Sensoren werden über das Internet per Mobilfunk mit einem Rechner im zuständigen Überwachungsbüro verbunden. Jeder Sensor erhält eine feste IP-Adresse, über die er in einem sicheren Netzwerk (Open VPN) ansprechbar ist (Bild 4).



Bild 3: Photovoltaikanlage



Bild 2: Tachymeterschrank

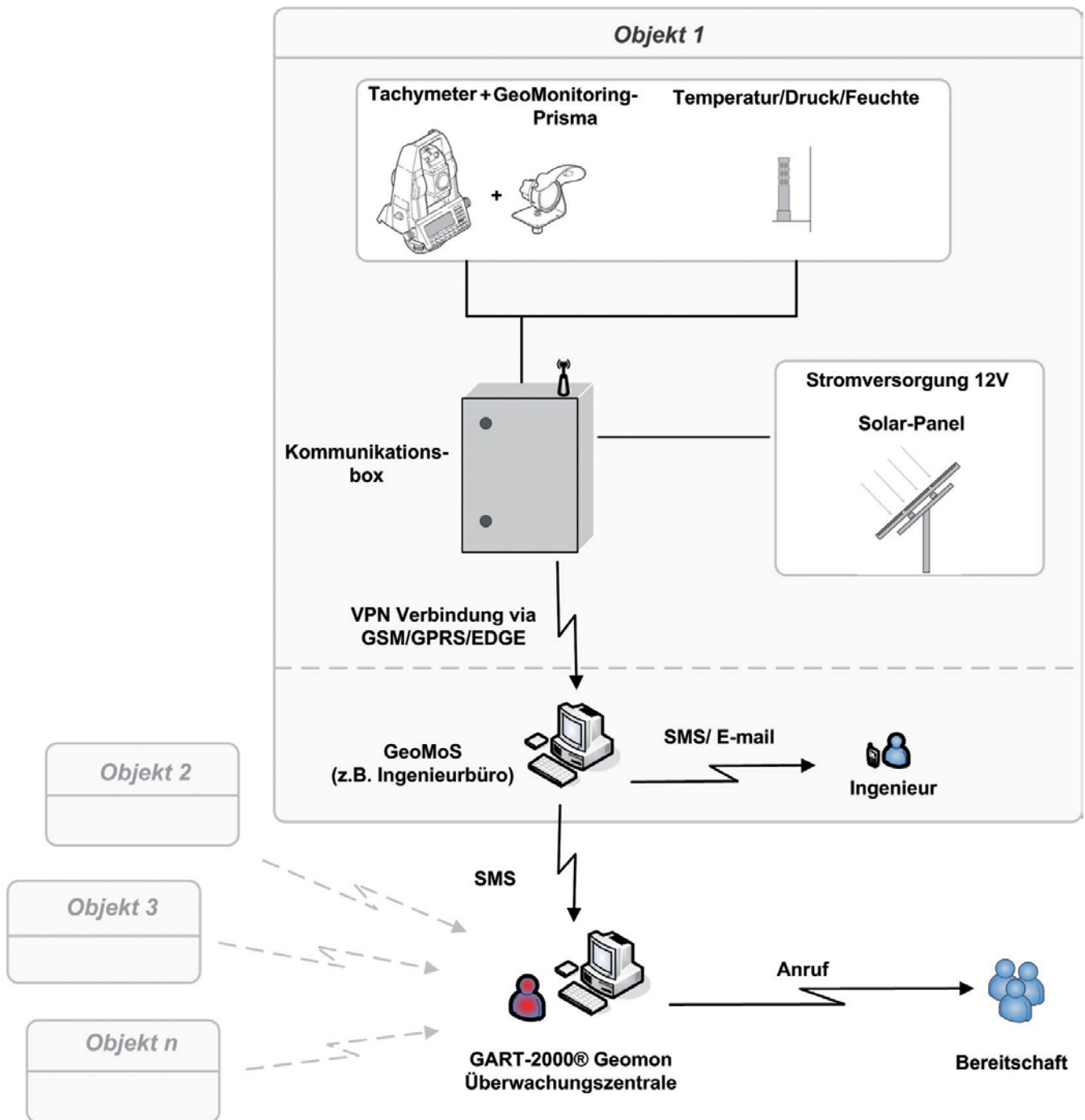


Bild 4: Übersicht des GeoMonitoringsystems

Als Überwachungssoftware wurden in diesem Projekt GeoMoS von Leica Geosystems und das von ALLSAT entwickelte GART-2000 Geomon installiert. GeoMoS dient der Steuerung der Sensoren, der Datenverwaltung und -auswertung sowie dem Erzeugen von Meldungen. Dazu werden die Grenzwerte für die zu erwartenden Bewegungen als Limitklassen für jeden Referenz- und Objektpunkt definiert.

Eine Nullmessung ergab die Ausgangskordinaten für alle Messpunkte. So-

bald sich die Koordinaten von einem der Objektpunkte um mehr als 10 mm in der Vertikalen ändern, wird eine Warnung automatisch per SMS versendet.

In einer 24h besetzten Überwachungszentrale wurde zusätzlich ein PC mit der Software GART-2000 Geomon installiert. Die Software dient der parallelen Überwachung mehrerer Monitoringsysteme und signalisiert in einer Gesamtübersicht mit Ampelfarben und Signaltönen den Zustand jedes einzelnen Systems (Bild 5). Für jedes überwachte Bauwerk

können Zusatzinformationen und Handlungsanweisungen gespeichert werden. Das fachfremde Personal der Überwachungszentrale kann so schnell nach den geltenden Vorschriften reagieren und die Bereitschaft sowie die Fachingenieure informieren.

Bis zu einer Entscheidung für eine Brückensanierung soll das automatisierte Monitoringsystem an dieser Brücke installiert bleiben. Es ist jedoch so konzipiert, dass es im Anschluss auch an anderen Bauwerken eingesetzt werden kann.

GloMo  
Datei Admin

### Optische Dauerüberwachung

Objekt	Meldung	Objekt	Meldung	Objekt	Meldung
Object01 Bridge01 Location01	keine	Object02 Bridge02 Location02	keine	Object03 Bridge03 Location03	09:37:51 Uhr 26.02.2010
Object04 Bridge04 Location04	keine	Object05 Bridge05 Location05	keine	Object06 Bridge06 Location06	keine
Object07 Bridge07 Location07	keine	Object08 Bridge08 Location08	keine	Object09 Bridge09 Location09	keine
Object10 Bridge10 Location10	keine	Object11 Bridge11 Location11	09:36:01 Uhr 26.02.2010	Object12 Bridge12 Location12	keine
Object13 Bridge13 Location13	keine	Object14 Bridge14 Location14	keine	Object15 Bridge15 Location15	keine
Object16 Bridge16 Location16	09:36:34 Uhr 26.02.2010	Object17 Bridge17 Location17	keine	Object18 Bridge18 Location18	keine
Object19 Bridge19 Location19	keine	Object20 Bridge20 Location20	keine	Object21 Bridge21 Location21	keine
Object22 Bridge22 Location22	keine	Object23 Bridge23 Location23	keine	Object24 Bridge24 Location24	09:37:11 Uhr 26.02.2010
Object25 Bridge25 Location25	keine	Object26 Bridge26 Location26	keine	Object27 Bridge27 Location27	keine
Object28 Bridge28 Location28	keine	Object29 Bridge29 Location29	keine	Object30 Bridge30 Location30	keine

Alarmstufe:  
1 = Störung  
2 = Auffälligkeit  
3 = Warnung  
4 = Alarm

Bild 5: GART-2000® Geomon

### Wirtschaftlichkeit

Neben der Wahl der passenden Instrumente und Messverfahren spielt der Arbeitsaufwand eine entscheidende Rolle. In einem Aufwandsvergleich manueller Überwachung vs. automatisiertem Monitoring wird der zeitliche und damit monetäre Vorteil des automatisierten Verfahrens deutlich (Tabelle 1). Die für die Berechnung zu Grunde gelegte Messpe-

riode beträgt eine Woche, während der in der manuellen Variante tagsüber acht Stunden lang stündlich eine Messung mit einem Tachymeter durchgeführt und direkt danach ausgewertet wird. In der automatisierten Variante wird zusätzlich ohne Mehraufwand während der Nacht gemessen. Pro Tag ergeben sich also durch das automatisierte Monitoring 240 und vom manuellen Messtrupp 80 tachymetrische Einzelmessungen.

Wir gehen davon aus, dass auch bei der manuellen Messung die Prismen an der Brücke montiert werden und dauerhaft verbleiben. Daher ist der zeitliche Aufwand für die Installation der Prismen für beide Varianten gleich. Beim fest installierten System kommen noch etwa 2 Stunden Mehraufwand für den Anbau des wetter- und vandalismussicheren Tachymeter-Gehäuses dazu. Das automatisierte Monitoringsystem misst sofort nach der Installation kontinuierlich und schon

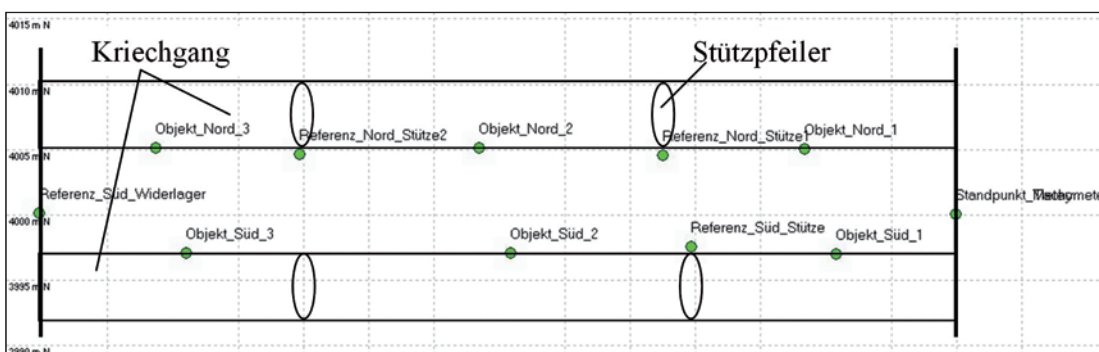


Bild 6: Schematische Messpunktskizze

am zweiten Tag wird der wirtschaftliche Vorteil des automatisierten Verfahrens deutlich. In den folgenden Tagen läuft das System voll automatisch; nur im Falle einer Grenzwertüberschreitung kommt es zu einem Arbeitseinsatz des Projektverantwortli-

**Tabelle 1: Aufwandsvergleich manuelle vs. automatisierte Überwachung**

Überwachung, manuell	Aufwand	Monitoring, automatisiert	Aufwand
1. Tag	[h]	1. Tag	[h]
Tachymeter aufstellen, Spiegel installieren	5	Tachymeter fest installieren, Spiegel installieren	7
Durchführung 1. Messung	1	Software Einrichtung	1
zwei weitere Messungen	1	1. Messung zur Einrichtung	1
Auswertung: 0,5 h je Messung	1	Betreuung, Funktionsprüfung	1
		Auswertung in Echtzeit	0
<b>Summe 1. Tag</b>	<b>8</b>	<b>Summe 1. Tag</b>	<b>10</b>
<b>Jeder weitere Tag</b>			
Aufbau Messsystem	0,5	Aufbau (entfällt)	0
cht weitere Messungen	4	Betreuung, Funktionsprüfung	0
Auswertung: 0,5 h je Messung	4	Auswertung in Echtzeit	0
Summe, pro Tag	8,5	Summe, pro Tag	0
<b>Summe, 1. Woche</b>	<b>59</b>	<b>Summe, 1. Woche</b>	<b>10</b>
<b>Aufwand</b>	<b>100 %</b>	<b>Aufwand, ca.</b>	<b>17%</b>

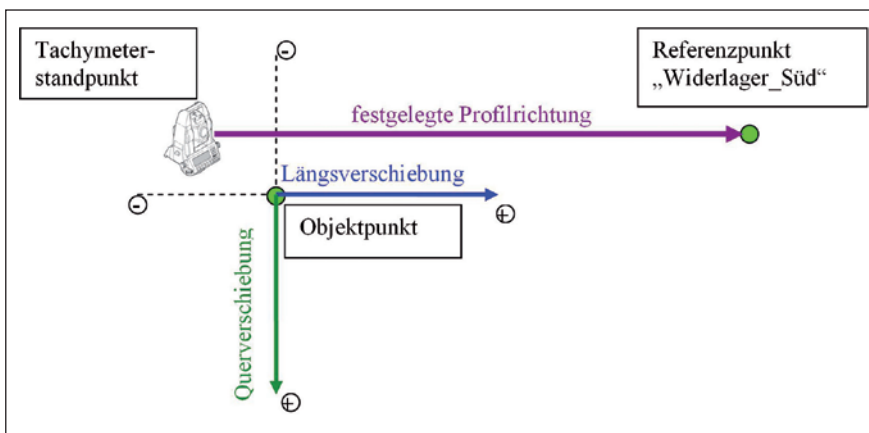


Bild 7: Darstellung Verschiebungsrichtung

Punkt ID	Längsverschiebung [mm]	Quer-verschiebung mm]	Höhenverschiebung [mm]
Nord_1	8	13	5
Nord_2	11	6	7
Nord_3	16	5	7
Süd_1	8	7	4
Süd_2	14	3	6
Süd_3	22	12	7

chen. Bei einer manuellen Überwachung muss dagegen der Ingenieur oder Messtechniker während des kompletten Messzeitraumes vor Ort sein, um die stündlichen Messungen und jeweils im Anschluss die sofortige Auswertung durchzuführen.

### Datenanalyse und Auswertung

Das hier vorgestellte System misst seit November 2008 kontinuierlich stündlich alle zehn Punkte (Bild 6). Zur Dateninterpretation werden nicht nur die vertikalen Bewegungen, sondern dreidimensionale Bewegungen (Längs-, Quer- und Höhenverschiebung) betrachtet (Bild 7). Die jeweiligen Verschiebungsbeträge ergeben sich aus der Differenz zwischen Nullmessung und aktueller Messung.

Die bisher erreichten Maximalwerte der Verschiebungen in Bezug zur Nullmessung betragen (ohne Berücksichtigung möglicher Ausreißer) [siehe Tabelle links].

Die Brücke scheint gegenüber den Widerlagern innerhalb eines Jahres eine Art „Drehbewegung“ zu vollführen. Dies zeigt sich im Vergleich der Querabweichung der jeweiligen Punkte des nördlichen und südlichen Kriechganges (Bilder 8 und 9). Die nah am Tachymeter gelegenen Punkte werden in positive Richtung verschoben, die

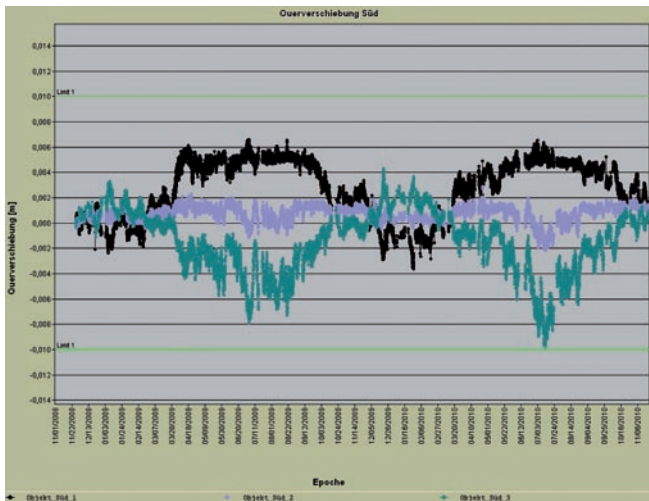


Bild 8: Querverschiebung südlicher Kriechgang

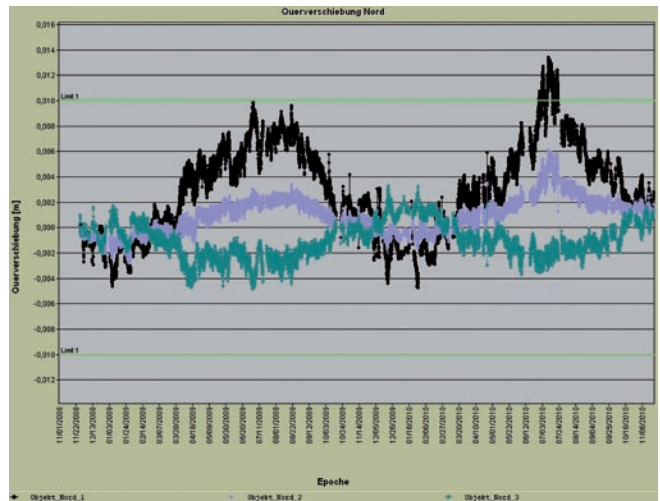


Bild 9: Querverschiebung nördlicher Kriechgang

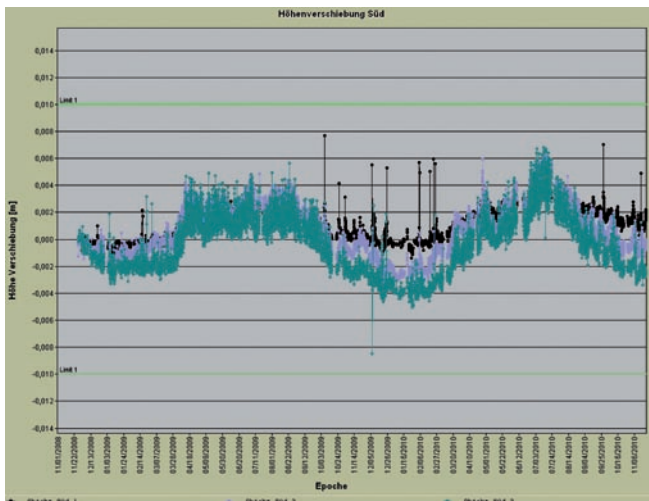


Bild 10: Höhenverschiebung südlicher Kriechgang

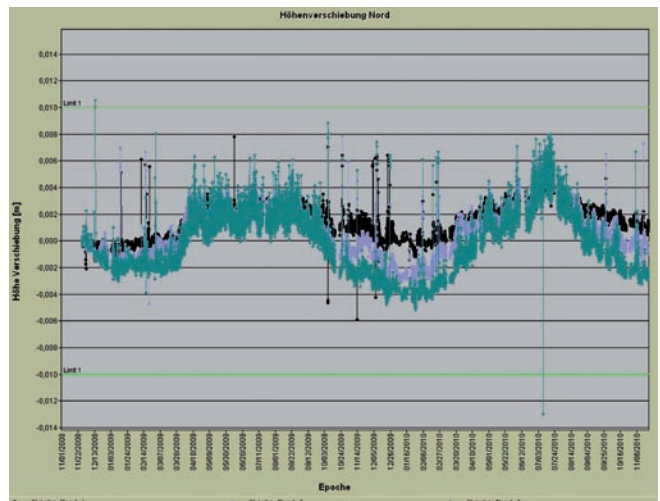


Bild 11: Höhenverschiebung nördlicher Kriechgang

Punkte im mittleren Feld bleiben nahezu statisch, und die am weitesten vom Tachymeter entfernten Punkte werden in die negative Richtung verschoben.

Ein Jahrgang ist ebenfalls in der Höhenkoordinate der Objektpunkte deutlich erkennbar (Bilder 10 und 11). Das System wurde im Oktober 2008 installiert und die Nullkoordinaten der Objektpunkte wurden bestimmt. In den Wintermonaten (Oktober – März) beträgt die Abweichung von der Nullmessung -2 bis -4mm. In den Sommermonaten (April – September) hingegen ist die Abweichung positiv und beträgt +3 bis +5 mm.

Vereinzelt sind in den Daten, insbesondere in der Höhe, Ausreißer zu erkennen. Diese sind vermutlich auf kurzfristige Verkehrslasten zum Zeitpunkt der Messung zurück zu führen. In einer automatisierten Nachmessung sofort im Anschluss an die

abgeschlossene stündliche Messung aller Punkte werden die Punkte, deren Messwerte einen definierten Grenzwert überschritten haben, noch einmal gemessen. In dieser Nachmessung sind in den meisten Fällen die Toleranzüberschreitungen nicht mehr aufgetreten.

### Fazit

Das vorgestellte automatisierte Monitoring bietet die Sicherheit, ein sanierungsverdächtiges Bauwerk zu überwachen und die Nutzungsdauer ggf. um mehrere Jahre zu verlängern. Nach einem Installationszeitraum von mehr als einem Jahr lassen sich zudem Zusatzinformationen über das Bauwerksverhalten ableiten, die mit standardmäßig durchgeführten Einzelmessungen nicht signifikant aufgedeckt werden können.

Mit der Kombination der Softwarepakete Leica GeoMos und GART-2000 Geomon

stehen die Ergebnisse des Monitorings sowohl detailliert für die Fachingenieure als auch übersichtlich für fachfremdes Personal, z. B. in einer Zentrale zur Überwachung verschiedenster Infrastrukturobjekte, zur Verfügung.

Für die Brücke, an der das vorgestellte Monitoringsystem installiert ist, konnte die Nutzungsdauer bereits um 2½ Jahre verlängert werden. Das System ist weiterhin im Einsatz.

### Autoren

Dipl.-Ing. Ditte Becker  
 Dipl.-Ing. Anette Rietdorf  
 Dipl.-Ing. Jürgen Ruffer  
 Allsat GmbH network+services  
 Am Hohen Ufer 3A  
 30159 Hannover  
 anette.rietdorf@allsat.de  
 www.global-monitoring.net  
 www.allsat.de