

# Sicherheit ist messbar

## GeoMonitoring an einer Gleisanlage



Bild 1: Verformte Schienen

Die Eisenbahn an sich ist eines der sichersten Verkehrsmittel überhaupt. Dafür sorgen hohe technische Standards bei der Überwachung der Züge und des Schienennetzes sowie strenge Kontrollen. Dennoch birgt der Bahnverkehr vor allem systemimmanente Risiken in sich:

- Züge haben aufgrund ihrer großen Massen und der geringen Reibung der Räder auf den Schienen einen sehr langen Bremsweg.
- Ein schneller Spurwechsel, z. B. um einem Hindernis auszuweichen, ist durch die exakt vorgegebene Spurführung nicht möglich.
- Unfälle oder Schäden im Eisenbahnverkehr können durch frontale oder seitliche Kollisionen oder Entgleisungen entstehen.

Entscheidend für den reibungslosen Verkehrsfluss auf der Schiene ist, dass die Gleisanlagen in technisch einwandfreiem Zustand sind. Jede noch so kleine Abweichung vom Soll-Zustand der Gleise kann zur Katastrophe führen.

Das Schienennetz der Deutschen Bahn kreuzt und quer durch die Republik misst 33.800 Kilometer, hat 67.157 Weichen und Kreuzungen, 26.912 Brücken und knapp 790 Tunnel. Eine permanente computergestützte Überwachung des gesamten Netzes ist nicht möglich.

Deshalb dienen als Erstkontrollfunktion die visuellen Beobachtungen und die objektiven Eindrücke der Lokführer. Besteht der Verdacht, dass sich das Gleisbett gesenkt hat oder Schienen verzogen haben, wird der Streckenabschnitt vermessen. So lässt sich das Ausmaß der Verschiebung feststellen.

Ist hingegen zu befürchten, dass der Gleisabschnitt weiter in Bewegung bleibt, bietet die kontinuierliche Überwachung mit GeoMonitoring die notwendige Sicherheit. Dabei werden definierte Fixpunkte periodisch und automatisiert vermessen. Das System überwacht selbst minimale Abweichungen dauerhaft und verlässlich. Die Messergebnisse lassen sich mithilfe von moderner Kommunikationstechnik transferieren und über Softwareapplikationen visualisieren. Das ermöglicht bei Bedarf eine schnelle Reaktion bis hin zur sofortigen Sperrung der Strecke – ohne vor Ort sein zu müssen.

### GeoMonitoring einer Gleisanlage

In Hessen, nahe der Ländergrenze zu Niedersachsen und Thüringen, weichte Dauerregen im April 2010 einen Bahndamm so stark auf, dass der Unterbau der Gleisanlage in Bewegung geriet. Infolgedessen hatten sich die Schienen einer Fahrtrichtung um einige Zentimeter verzogen (Bild 1). Aus Sicherheitsgründen wurde das Teilstück für den Güterverkehr gesperrt. Eine Gleisstopfmachine hatte den Gleisabschnitt schon zweimal ausgebessert. Um den Damm erst einmal zu stabilisieren, hatte die Deutsche Bahn vom Randweg aus begonnen, im laufenden Betrieb Kleinbohrpfähle einzubringen. So konnten zumindest die Regionalbahnen mit deutlich verringerter Geschwindigkeit weiterhin den Bauabschnitt passieren.

Doch genau zu diesem Zeitpunkt plante die Bahn, auch den ICE-Verkehr von Hamburg nach München auf diese Strecke umzuleiten, um notwendige Oberleitungsarbeiten an der eigentlichen ICE-Strecke vornehmen zu können.

Somit wurde die Freigabe an eine Auflage gekoppelt: Das Teilstück, an dem die Bahn bereits Führungsschienen installiert hatte, um ein Herausspringen der Räder infolge der Gleisverwerfungen zu verhindern, sollte permanent messtechnisch überwacht werden. Daneben wurde die Geschwindigkeit auf der Strecke auf 30 km/h begrenzt und dann auch wieder für den Güterverkehr freigegeben.

Das Ingenieurbüro Drecoll erhielt den Auftrag, die Stabilisierungsarbeiten am Bahndamm durch Überwachungsmessungen zu kontrollieren, um so frühzeitig weitere Gleisverformungen oder Erdbewegungen festzustellen. Der Hang entlang des Bahndamms wurde auf einer Länge von 80 m überwacht. Mittendrin: ein Fahrleitungsmast, der aus Sicherheitsgründen weder demontiert noch verschoben werden konnte.

Je nach Projekt und Anforderung variiert die Messmethode beim GeoMonitoring zwischen GNSS, Digitalnivellier, Tachymeter oder weiteren geotechnischen Sensoren. Aus ökonomischen und sicherheitstechnischen Gründen wählte das Ingenieurbüro Drecoll ein kontinuierliches und somit automatisiertes tachymetrisches Monitoring des Bahndamms. Zusammen mit der Firma Allsat GmbH network+services (ALLSAT) wurde das System bereits vier Tage nach der Anfrage installiert.

### Sensoren und Stromversorgung

Als Hauptsensor wurde ein Leica-Geosystems-Präzisions-Tachymeter vom Typ TS30 eingesetzt. Dieser wurde an einem Mast außerhalb des Gefahrengebiets in einer wetter- und diebstahlsicheren Umhausung in 3 m Höhe installiert (Bild 2). Ebenfalls an standsicheren Masten wurden in unterschiedlichen Entfernungen sechs Referenzpunkte mit Prismen ausgestattet, die der stündlichen Kontrolle der Tachymeterposition dienten.



Bild 2: Tachymeter in wetter- und diebstahlsicherem Gehäuse



Bild 3: Überwachungsprismen an den Gleisschwellen

Auf dem gut 100 m langen Gefahrenstreifen wurden zwölf Monitoringspiegelprismen mit speziell angefertigten Halterungen an den Schwellen so positioniert, dass eine Zugdurchfahrt ungehindert erfolgen konnte (Bild 3). Jenseits der Gleise und ebenfalls im Hauptbewegungsgebiet wurde ein dreizehntes Prisma an dem oben erwähnten Fahrleitungsmast installiert, um auch hier eine kritische Bewegung permanent beobachten zu können (Bild 4).

Die Messungen des Tachymeters beruhen auf einem elektro-optischen Verfahren. Meteorologische Faktoren wie z. B. Nebel beeinträchtigen daher die Messqualität. Um die spätere Interpretation der Messdaten zu erleichtern, wurde zusätzlich zum Tachymeter ein kombinierter Meteorosensor für die Messung von Lufttemperatur, Luftdruck und relativer Luftfeuchte installiert. Da außerdem die visuelle Kontrolle der tatsächlichen Situation vor Ort gewünscht war,

wurde eine Outdoor-Webcam diebstahlsicher über dem Tachymeter am Mast befestigt (Bild 5).

Für Installationsarbeiten an und in der Nähe vom deutschen Schienennetz gelten besondere Sicherheitsvorkehrungen. Speziell für die Installationsarbeiten des tachymetrischen GeoMonitoring-Systems wurde der Streckenabschnitt für mehrere Stunden gesperrt, sodass die Prismen gefahrlos an den Schwellen montiert werden konnten.

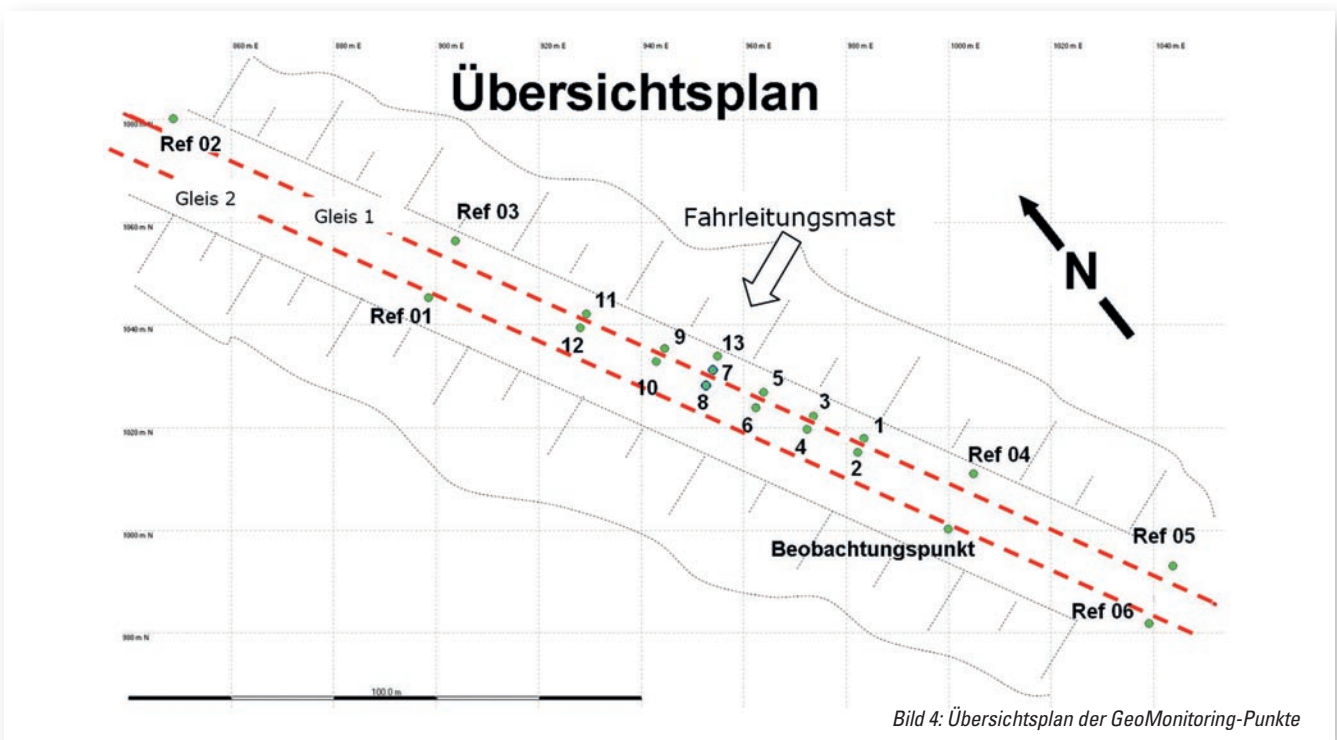


Bild 4: Übersichtsplan der GeoMonitoring-Punkte



Bild 5: Webcam als zusätzlicher Sensor

Für Arbeiten direkt neben dem Gleis mussten stets Sicherungsposten der Deutschen Bahn anwesend sein, die vor Zugdurchfahrten warnten und das sichere Überqueren der Gleise gewährleisteten.

Die Sensoren benötigten für den Dauereinsatz über Wochen und Monate natürlich eine externe Stromversorgung. Die vorhandene Stromleitung an der Gleisanlage konnte dafür allerdings nicht genutzt werden. Die nächstmöglichen Anschlussstellen waren zu weit entfernt, um ein Kabel zu verlegen. Aus diesem Grund musste eine autarke Stromversorgung gewährleistet werden. Hier gab es drei Möglichkeiten:

- Eine Batterie – die allerdings in regelmäßigen Abständen hätte ausgetauscht werden müssen. Weshalb diese Spannungsquelle verworfen wurde.
- Eine Photovoltaikanlage – wäre überdimensioniert, für das Projekt zu aufwendig und angesichts des knappen Zeitplans von nur einer Woche zwischen Auftragserteilung und Messbeginn auch nicht installierbar gewesen.
- Somit entschied man sich in diesem Projekt für eine Brennstoffzelle als einzige mögliche Energieversorgung für das Gesamtsystem.

Die verwendete Brennstoffzelle enthält automatische Ladegeräte für 12V- und

24V-Blei-Akkumulatoren, die wiederum die Messausrüstung mit Strom versorgen. In einem speziell für den Außeneinsatz konzipierten Koffer wurde die Brennstoffzelle neben den anderen Sensoren platziert. Der Zustand der Brennstoffzelle konnte per Fernwartung jederzeit überwacht werden.

### Software und Kommunikation

Die Sensoren wurden über das Internet per Mobilfunk mit einem Rechner im Ingenieurbüro Drecoll verbunden. Jeder Sensor erhielt eine eigene IP-Adresse, über die er in einem sicheren Netzwerk (Open VPN) ansprechbar war (Bild 6, Übersichtsskizze).

Als Steuerungssoftware wurde GeoMoS von Leica Geosystems installiert. In GeoMoS können unterschiedlichste geodätische, meteorologische und geotechnische Sensoren gesteuert, deren Daten ausgewertet und verwaltet werden. Die Messintervalle sind frei wählbar, die Messungen automatisiert. Die Daten werden dann in einer Datenbank verwaltet und gespeichert.

Die Projektverantwortlichen hatten das Messintervall für die Objektpunkte auf einmal je Viertelstunde festgelegt. Die sechs

Referenzpunkte wurden jede Stunde einmal angemessen. Pro Tag ergaben sich somit 1.392 tachymetrische Messungen.

Eine Nullmessung der Prismen definierte die Ausgangswerte aller Messpunkte. Sobald sich die Koordinaten von einem der Objektpunkte um mehr als 10 mm (Limit 1) änderten, sollte eine Warnung automatisiert per SMS versendet werden. Bei einer Veränderung von mehr als 20 mm (Limit 2) wäre ein kritischer Wert für die Gleislage überschritten worden, und eine unabhängige Vermessung mit einem Gleismesswagen hätte durchgeführt werden müssen. Bei einer Überschreitung von mehr als 30 mm (Limit 3) sollte die Strecke sofort für den Zugverkehr gesperrt und weitere Messungen an der Strecke sollten durchgeführt werden.

Um eine zeitliche Verzögerung im Falle einer Streckensperrung zu vermeiden, wurde im zuständigen Stellwerk ein PC mit der von ALLSAT entwickelten Software GART-2000 Geomon für die Überwachung und Meldungen installiert. Die mit den definierten Grenzwerten korrespondierende Bildschirmsoftware (Bild 7) arbeitet mit einer Ampelsymbolik und steuert zusätzlich ein Audiowarnsignal an.

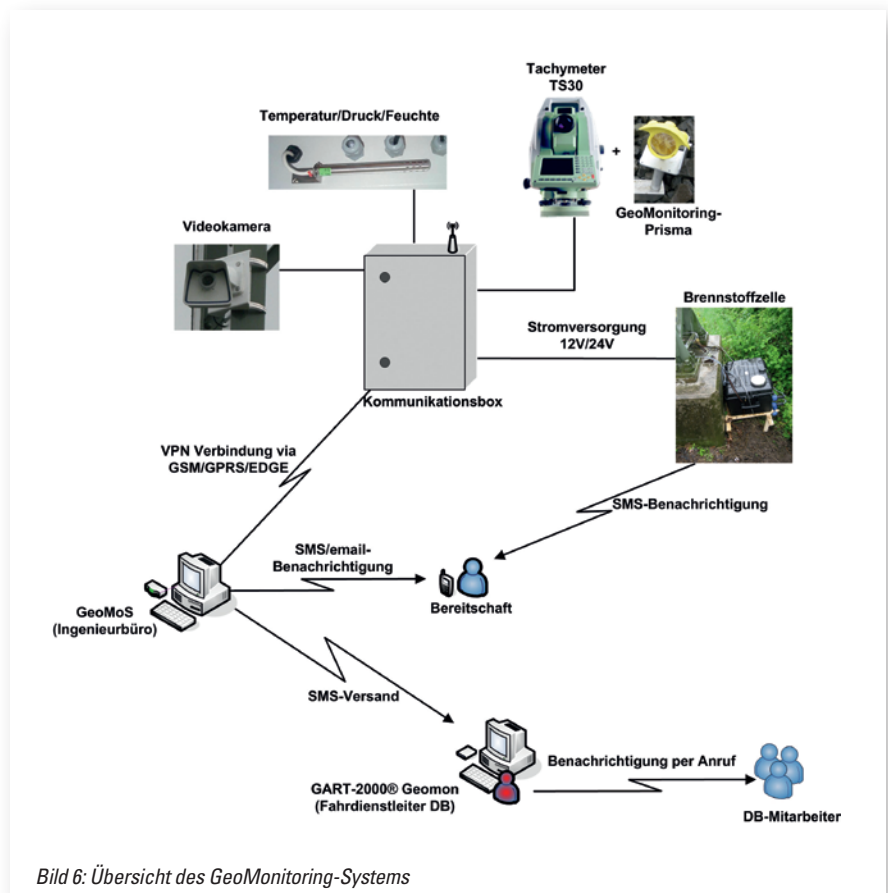


Bild 6: Übersicht des GeoMonitoring-Systems



Bild 7: GART-2000 Geomon

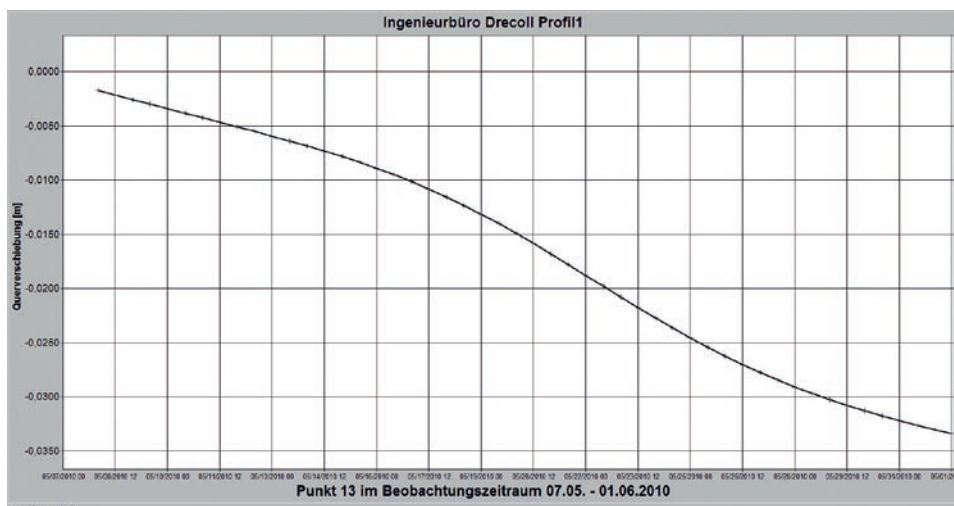


Bild 8: Querverschiebung am Punkt 13 (Fahrleitungsmast)

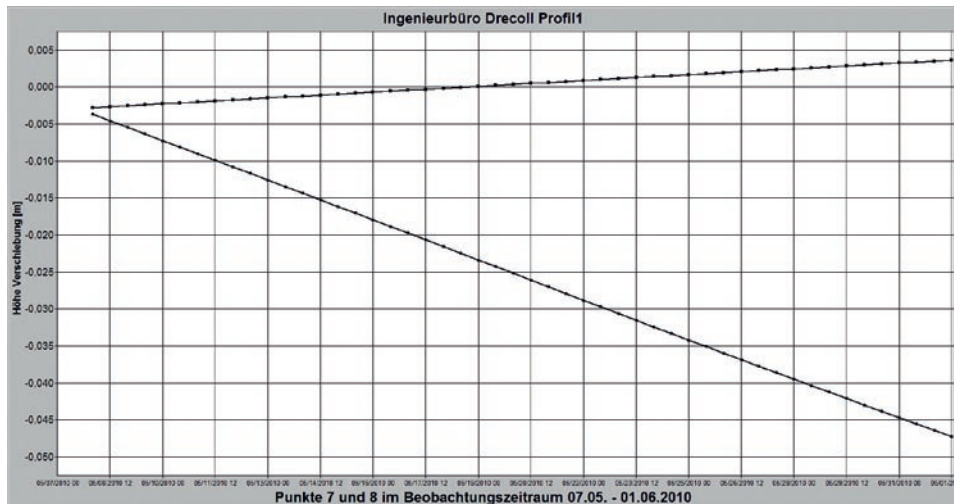


Bild 9: Höhenverschiebung der Gleispunkte 7 (unten) und 8 (oben) beim Fahrleitungsmast

Grün signalisiert „alles im grünen Bereich“, Gelb ist die erhöhte Warnstufe, und bei Rot hätte die Strecke sofort für den Verkehr gesperrt werden müssen. Die notwendigen Handlungsanweisungen werden in der Software als PDF-Dokument hinterlegt. Gerade fachfremdes Personal kann so schnell entsprechend den Vorschriften reagieren.

Beim Erreichen der Grenzwerte wurden sowohl der Bereitschaftsdienst der Deutschen Bahn als auch die Bereitschaft vom Ingenieurbüro Drecoll benachrichtigt, um die weitere Vorgehensweise abzustimmen. Aus den aufgezeichneten Daten in GeoMoS und den entsprechend bereitgestellten Grafiken konnte der Vermessungsingenieur schnell die Situation beurteilen und entsprechende weitere Schritte einleiten. Zeitgleich wurde das Stellwerk vor Ort über die GART-2000-Geomon-Software mit vorgegebenen Handlungsanweisungen (z. B. Streckensperrung mit örtlicher Kontrolle der Gleislage) versorgt.

Das GeoMonitoring-System sollte anfänglich nur während der Stabilisierungsarbeiten am Bahndamm für etwa zwei Monate installiert werden. Da die Verformungen nach den Sofortmaßnahmen noch nicht zum Stillstand gekommen waren und das Monitoringsystem sich als zuverlässig und sicher erwies, blieb das System während der gesamten Dammsanierung von Anfang Mai bis Ende September 2010 im Dauereinsatz.

### Ergebnisse

Während dieses Messzeitraums kam es zu einer Querverschiebung der Schienen von mehr als 1 cm. Damit einhergehend hat sich die Höhe der jeweiligen Punkte ebenfalls geändert. Nach mehreren Tagen Dauerregen hatten sich die Schienen bedenklich weit verschoben, sodass die Verantwortlichen erneut eine Gleisstopfmaschine einsetzten, um die Gleislage wieder zu korrigieren.

Im laufenden Projekt gab es ca. 200 Limit-1-Überschreitungen (10 mm). Die Grenzwerte wurden dabei im Projektverlauf mehrfach seitens des Auftraggebers angepasst. Die Limitgrenze 2 (20 mm) wurde insgesamt achtmal überschritten. Diese Überschreitungen traten alle innerhalb einer Stunde bei Punkt 13 (Fahrleitungsmast) auf (Bild 8). Daraufhin wurde diese Limitgrenze angepasst. Außerdem leitete die Deutsche Bahn am Mast umgehend Sicherungsmaß-

nahmen ein. Trotzdem setzte sich der Bewegungsverlauf am Mast weiter fort, so dass die Limitgrenze 3 (30 mm) erreicht wurde.

Ingesamt waren im Zeitraum vom 20. bis 23. Mai 2010 erhebliche Verformungen am Hang nachweisbar. In Tabelle 1 ein Beispiel für die Verformungsgeschwindigkeit innerhalb von 24 Stunden für die Punkte in der Achse des Fahrleitungsmastes:

**„Bewegungsbetrag“ (Delta)  
im Zeitraum 20.–21.05.2010 (24 h):**

Tabelle 1:  
Abweichung zur Nullmessung (Betrag)

Punkt-ID	Längs	Quer	Höhe
Punkt 07	0,2 mm	4,6 mm	5,7 mm
Punkt 08	0,4 mm	3,7 mm	1,5 mm
Punkt 13	0,5 mm	8,6 mm	3,4 mm

In Bild 9 sind die Höhenverschiebungen der Schienen am Fahrleitungsmast (Punkt 13) dargestellt. Deutlich zu sehen ist das Absenken der böschungsnahen Schiene, während sich die andere an der gleichen Schwelle angebrachte Schiene hebt.

Anfang Juni waren die Sicherungsmaßnahmen am Bahndamm abgeschlossen. Die Bewegungen am Bahndamm (Bilder 10, 11) setzten sich trotzdem weiter fort, bis sie schließlich Mitte August vollständig zum Stillstand kamen.

**Fazit**

Das automatisierte GeoMonitoring überwacht dauerhaft und verlässlich mögliche Erdbewegungen und gewährleistet im laufenden Baustellenbetrieb die notwendige Sicherheit. Kostspielige Stilllegungen von Verkehrswegen und Bauwerken erübrigen sich somit unter Umständen. Die dort einsetzbaren geodätischen, meteorologischen und geotechnischen Sensortypen erfassen kontinuierlich Messdaten vom Bauwerkszustand und der Bewegung von repräsentativ definierten Punkten. Diese Punkte werden von Spezialisten unterschiedlicher Fachrichtungen (u. a. Statiker, Geotechniker und Geodäten) festgelegt. Die so erhobenen Messergebnisse werden permanent in Echtzeit ausgewertet und in Meldungen an verantwortliches Bereitschaftspersonal übersetzt. So können rund um die Uhr Sicherungsmaßnahmen eingeleitet wer-

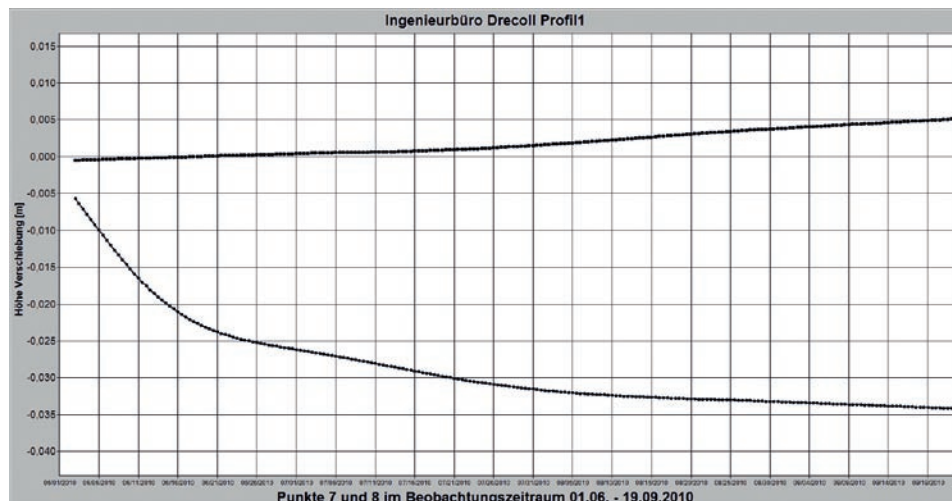


Bild 10: Höhenverschiebung der Gleispunkte 7 (unten) und 8 (oben) beim Fahrleitungsmast nach Beendigung der Sicherungsmaßnahmen

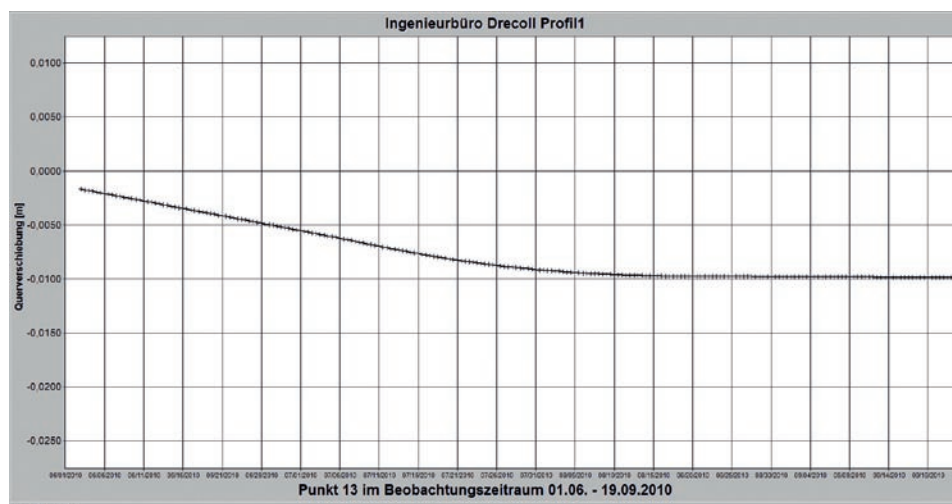


Bild 11: Querverschiebung am Punkt 13 (Fahrleitungsmast) nach Beendigung der Sicherungsmaßnahmen

den, um die Gefährdung von Sachwerten und Personen zu vermeiden. Die Software GART-2000 Geomon ist so konzipiert, dass zurzeit bis zu 70 Objekte parallel überwacht und von einem Bereitschaftsdienst verfolgt werden können. Hierbei kann es sich um unterschiedlichste Objekte und Sensoren handeln,

sodass einem Infrastrukturbetreiber eine ökonomische Überwachung seiner Objekte ermöglicht wird. Das hier beschriebene Verfahren hat über fünf Monate seine Einsatzreife unter Beweis gestellt und ein Mehrfaches der Verfahrenskosten durch den weiterlaufenden Betrieb einsparen können.

**Autoren**

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

Dipl.-Ing. Kai Tamms  
Dipl.-Ing. Frank Wielitzek  
Öffentlich bestellte Verm.-Ing.  
Ingenieurbüro Drecoll  
Uhlemeyerstraße 13  
30175 Hannover  
tamms@drecoll.de  
www.drecoll.de  
www.geomonitring.de