

Gleismonitoring überwacht Damm-Ertüchtigung

Permanente messtechnische Überwachung ermöglicht Sanierungsarbeiten bei laufendem Betrieb.

Ditte Becker
Anette Rietdorf
Jürgen Ruffer
Sigrid Stavesand
Kai Tamms
Frank Wielitzek

Dauerregen im Anschluss an lange Frostperioden weichte Ende März 2010 den Bahndamm der Strecke 3600 Eichen-

berg – Friedland so stark auf, dass es im Unterbau der Gleisanlage in km 228,76 zu starken Verformungen kam. In Folge dessen hatten sich die Gleise in Fahrtrichtung Friedland um einige Zentimeter verschoben (Abb. 1). Aus Sicherheitsgründen wurde das Teilstück für den Güterverkehr gesperrt. Trotz mehrfacher Stopfgänge traten weiterhin Gleislageveränderungen auf. Um die Ursache zu identifizieren, beauftragte die DB Netz AG die Inge-

niergesellschaft Grundbauinstitut mbH (IGH) mit der Baugrunduntersuchung. Es wurden geotechnische Sicherungsmaßnahmen durchgeführt.

Die Planung der DB Netz AG sah zudem vor, den ICE-Verkehr von Hamburg nach München auf diese Strecke umzuleiten, um notwendige Oberleitungsarbeiten auf der Schnellfahrstrecke vornehmen zu können. Daher wurde ein permanentes Monitoringsystem installiert. Daneben wurde die Geschwindigkeit auf 30 km/h begrenzt und dann auch wieder für den Güterverkehr freigegeben.

Böschungsrutschung und Gleissenkung

Das Gleis Eichenberg-Friedland verläuft im Bereich der Gleissenkung auf einem etwa 8 m hohen Damm. Die bahnrechte Böschung entlang des Bahndamms war auf einer Länge von 80 m ins Rutschen gekommen. Es zeigten sich Setzungen an der Dammkrone und Ausbauchungen in der Böschung. Die Gleissenkung erfasste einen Bereich von ca. 25 m. Als erste Sofortmaßnahme zur Gleisstabilisierung ist eine Gleisverstärkung eingebaut worden. Im besagten Abschnitt befindet sich der Fahrleitungsmast 228-32A in km 228,760. Das Mastfundament war im November 2009 eingemessen worden. Der Wert wurde als Nullmessung zu Grunde gelegt. Dadurch ergab sich, dass das Fundament sich um 14 cm gesetzt und um 27 cm verschoben hatte.

Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen

Es wurden Kleinbohrungen und Schürfe zur Erkundung durchgeführt (Abb. 2). Für verschiedene Belastungsfälle wurden die Sicherheiten gegen Böschungsbruch gemäß DIN 4084 ermittelt. Dabei wurden den angetroffenen Bodenschichten auf Erfahrungswerten und Laboruntersuchungen fußende Bodenkennwerte zugeordnet. Es wurde festgestellt, dass es durch Wassereinfluss und Strömungsdruck innerhalb der Böschung zu Instabilitäten gekommen ist. Die Konsistenz der bindigen Böden hatte über die Jahre abgenommen. Der Unterbau wies an einigen Stellen eine breite Konsistenz auf,



Abb. 1: Verformte Schienen

die als Ursache für die Rutschung anzusetzen ist.

Die Bettung, erst 2009 eingebracht, bestand bis 0,60 m unter Schienenoberkante (SO) aus sauberem Schotter. Es folgte die sogenannte Schottermischzone bis 1,1 m unter SO. Die Schottermischzone wies erhebliche Feinanteile auf und war nach unten hin stark verschlammmt. Unter der Schottermischzone fand sich eine 0,2 m starke Schicht aus Kiesen und Sanden. Darunter war eine Art Packlage eingebaut worden, die aus gebrochenem Sandstein, Tonstein und Kalkstein bestand. Es folgte die bindige Dammschüttung aus tonigen, sandigen Schluffen.

Der Randweg war mit Schotter bedeckt. Auch die Kiese und Sande setzten sich bis in den Randweg fort. Darunter fand sich allerdings abweichend von den Verhältnissen unmittelbar im Gleis keine Packlage, sondern eine 0,8 m starke Schicht aus tonigen, sandigen Schluffen mit Toneinsteinschlüssen. Hierbei handelte es sich offenbar um vormals gebrochenen Tonstein, der sich im Laufe der Jahre durch Witterungseinflüsse in einen stark bindigen, hochplastischen Boden verwandelt hatte. Das daraus bestehende Dammmaterial hatte im oberen Bereich eine überwiegend breiige Konsistenz. Die tonigen, sandigen Schluffe im unteren Dammtteil wiesen einen weichen bis halbfesten Zustand auf. Vergleichsbohrungen außerhalb des Senkungsbereiches ergaben, dass hier zum Dammaufbau gemischtkörniges Material mit einer erheblich größeren Scherfestigkeit verwendet worden war.

Stand sicherheitsuntersuchungen

Auf Grund der Lage- und Höhenverschiebung des Mastfundaments und der Erkenntnisse der Bodenbeschaffenheit konnte abgeschätzt werden, auf welcher Fläche sich die Rutschung vollzogen hatte. Der Gleitkreis trat demnach etwa 2 m unter dem Randweg aus. Für die dargestellte Ausgangssituation ohne Verkehrslast und ohne Wassereinfluss (Fall 1) errechnete sich nach dem alten globalen Sicherheitskonzept eine minimale Sicherheit gegen Böschungsbruch von 1,45, die sich damit etwa in Höhe der geforderten Sicherheit von 1,40 bewegte. Wurde die Last aus dem Zugverkehr berücksichtigt, verringerte sich die Sicherheit auf 1,33 und lag damit etwas unterhalb von 1,40. Eine deutliche Sicherheitsreserve gegenüber dem Bruchzustand von 1,0 war aber immer noch gegeben.

Im Weiteren wurde dann der Fall 2 untersucht, dass sich aufgrund mangelnder Entwässerungsmöglichkeiten Wasser innerhalb der sandigen und kiesigen Tragschichten und der darunter befindlichen

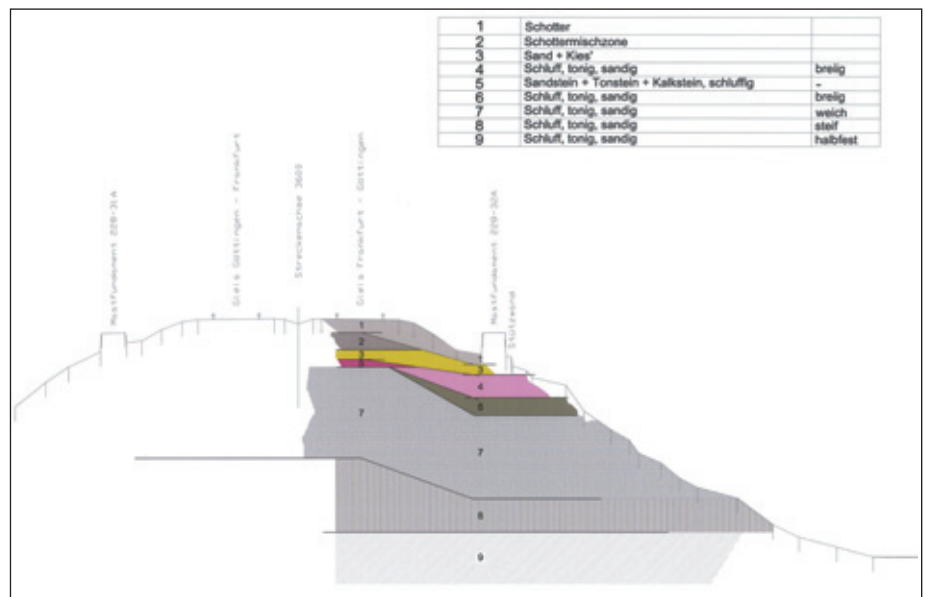


Abb. 2: Dammaufbau etwa in km 228,760

verwitterten Tonsteinlage und der Packlage staute (Abb. 3). Hier lieferte der Gleitkreis nur noch eine rechnerische Sicherheit von 0,98, gleichbedeutend mit dem Eintreten des Bruchzustandes. Bei Berücksichtigung der Lasten aus dem Zugverkehr verringerte sich die Sicherheit rechnerisch nochmals auf 0,96.

Sofortmaßnahme zur Sicherung des Dammes

Um die Böschung in kurzer Zeit so weit zu ertüchtigen, dass der geplante Umleitverkehr die Strecke passieren konnte, entschied man sich, vom Randweg aus im laufenden Betrieb eine Stützkonstruktion

aus so genannten Mikropfählen zu installieren. Die Pfähle wurden von der Sidla & Schönberger Spezialtiefbau GmbH in zwei Reihen senkrecht bzw. unter 10° gesetzt und zwischen dem Schotterfuß und dem Kabelkanal angeordnet. Die Pfähle wurden 6,0 m tief unter Randwegniveau auf einer Länge von etwa 40,0 m eingebracht.

Die Pfähle schnitten potenzielle Gleitflächen und bewirkten hier eine Art Verdübelung. Rechnerisch ergab sich mit ungünstigem Wasseransatz und mit Verkehrslast eine Sicherheit von 1,16. Durch die Verdübelung waren also gewisse Sicherheitsreserven geschaffen worden.

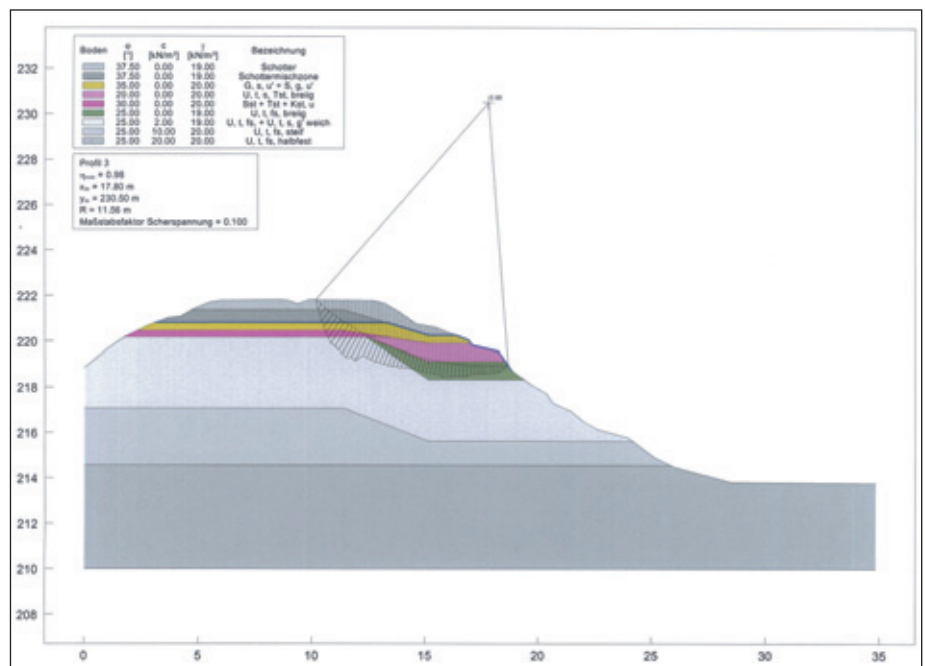


Abb. 3: Standsicherheitsuntersuchung mit maßgeblichen Gleitflächen-Fall 2



Abb. 4: Überwachungs-Prismen an den Gleisschwellen

Da sich aber die geforderte Sicherheit von 1,4 rechnerisch nicht nachweisen ließ, wurde bei der Wiederaufnahme des Güterverkehrs und bei dem Umleitver-

kehr an eine permanente messtechnische Überwachung gekoppelt. Das Ingenieurbüro Drecoll erhielt den Auftrag, die Stabilisierungsarbeiten am

Bahndamm durch Überwachungsmessungen zu kontrollieren, um so frühzeitig weitere Gleisverformungen oder Erdbewegungen festzustellen. Aus ökonomischen und sicherheitstechnischen Gründen wählte Drecoll ein kontinuierliches und somit automatisiertes tachymetrisches Monitoring des Bahndamms. Zusammen mit der Firma Allsat GmbH wurde das System in wenigen Tagen installiert.

Sensoren und Stromversorgung

Als Hauptsensor wurde ein Leica-Geosystems-Tachymeter vom Typ TS30 eingesetzt. Dieser wurde an einem Mast außerhalb des Gefahrengebietes in einer wetter- und diebstahlsicheren Umhüllung in 3 m Höhe installiert. Ebenfalls an standstilligen Masten wurden in unterschiedlichen Entfernungen sechs Referenzpunkte mit Prismen ausgestattet, die der stündlichen Kontrolle der Tachymeterposition dienen.

Auf dem gut 100 m langen Gefahrenstreifen wurden zwölf Monitoring-Spiegelprismen mit speziell angefertigten Halterungen an den Gleisschwellen so positioniert, dass eine Zugdurchfahrt ungehindert erfolgen konnte (Abb. 4). Jenseits der Gleise und ebenfalls im Hauptbewegungsgebiet wurde ein 13. Prisma an dem oben erwähnten Fahrleitungsmast installiert, um auch hier eine kritische Bewegung permanent beobachten zu können.

Die Messungen des Tachymeters beruhen auf einem optischen Verfahren. Meteorologische Faktoren wie z. B. Nebel beeinträchtigen die Messqualität. Um die spätere Interpretation der Messdaten zu erleichtern, wurde zusätzlich zum Tachymeter ein kombinierter Meteosensor 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.

Die Sensoren benötigten für den Dauereinsatz eine externe Stromversorgung. Die vorhandene Stromleitung an der Gleisanlage konnte 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 alternative Möglichkeiten:

- Eine Batterie, die allerdings in regelmäßigen Abständen hätte ausgetauscht werden müssen. Weshalb diese Spannungsquelle verworfen wurde.
- Eine Photovoltaik-Anlage wäre überdimensioniert, für das Projekt zu aufwendig und angesichts des knappen Zeit-

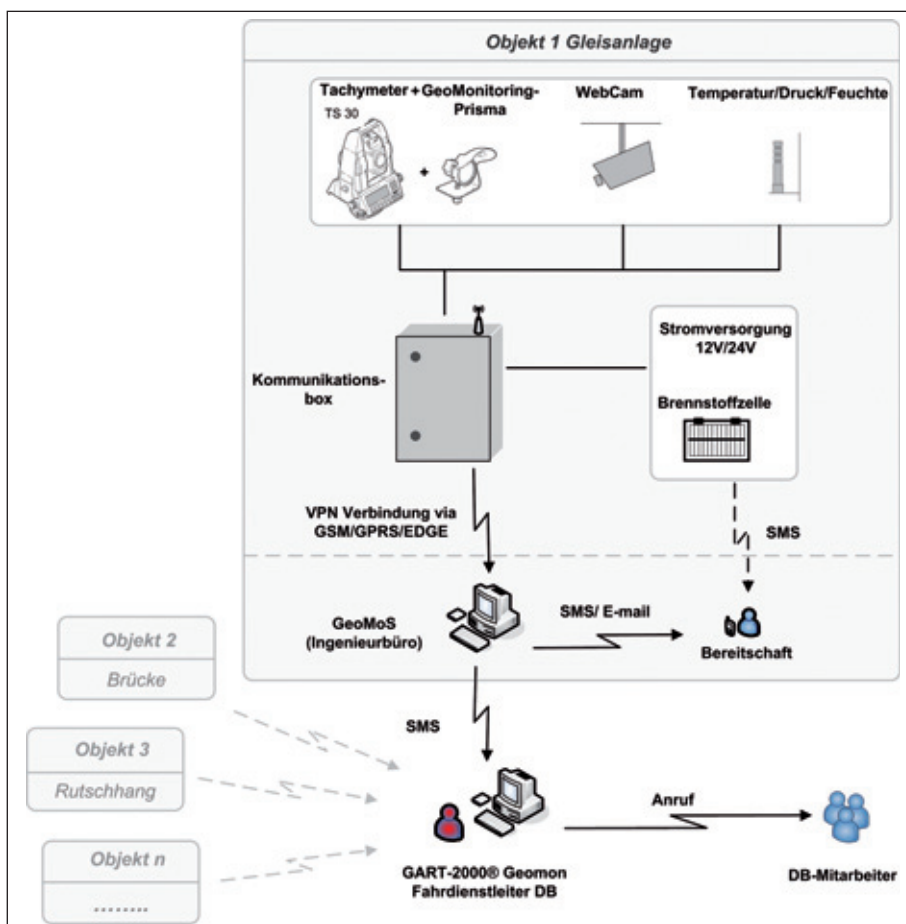


Abb. 5: Übersicht des GeoMonitoring-Systems

plans 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 12 V- und 24 V-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 (Abb. 5). 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 1392 tachymetrische Messungen.

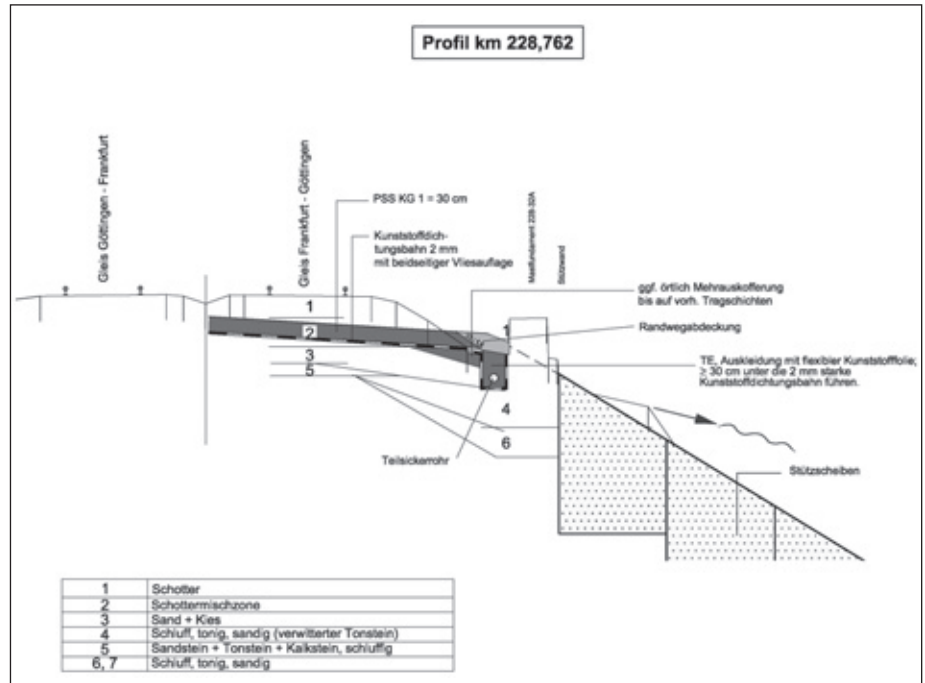


Abb. 6: Ertüchtigung des Gleises durch Einbau einer PSS und einer TE

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 Überwachung und Meldungen installiert. Die mit den definierten Grenzwerten korrespondierende Bildschirmsoftware arbeitet mit einer Ampelsymbolik und steuert zusätzlich ein Audio-Warnsignal an. 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.

Beim Erreichen der Grenzwerte wurden sowohl der Bereitschaftsdienst der DB Netz AG, 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.

Dauerhafte Ertüchtigung der Böschung und des Gleises

Mit den Mikropfählen war die nötige Standsicherheitsreserve geschaffen worden, um im zweiten Schritt die endgültige Ertüchtigung der Böschung im laufenden Betrieb zu realisieren. Die Ertüchtigung erfolgte mit Stützscheiben. Die Sidla & Schönberger Spezialtiefbau GmbH stellte die von unten nach oben verlaufenden Stützscheiben aus sogenanntem Erdbeton her. In Abschnitten von etwa 3,0 bis 4,0 m Breite wurde in die Böschung hinein sowie auf ca. 2,0 m Breite in Gleisrichtung gesehen das vorhandene Dammmaterial jeweils mit Zementsuspension vermischt. Auf diese Weise entstanden abgetreppte Stützscheiben aus verfestigtem Boden, die in einem lichten Abstand von 2 m untereinander gesetzt waren. Dazwischen verblieb das ursprüngliche, nicht verfestigte Dammmaterial. Diese Vorgehensweise erfolgte aus Sicherheitsgründen in kleinen Abschnitten im sogenannten Pilgerschrittverfahren.

Nach Herstellung der Stützscheiben wurde im September/Oktober 2010 als letzter Schritt der Ertüchtigungsmaßnahme im Senkungsbereich eine Planumsschutzschicht (PSS) als Tragschicht eingebracht

(Abb. 6). Im Fokus stand dabei die Entwässerungssituation. Es war sicher zu stellen, dass die witterungsempfindlichen Dammmaterialien künftig keinen Wasserzutritten mehr ausgesetzt wurden. Gemäß Ril 836 wurde unter Anwendung des Moduls 836.0509 unterhalb der PSS eine 2 mm dicke, beidseitig strukturierte Kunststoffdichtungsbahn bis in die neu geschaffene Tiefenentwässerung verlegt. Der Graben der Tiefenentwässerung wurde mit einer flexiblen Kunststoffolie ausgekleidet und mit einem Teilsickerrohr versehen. Das in der Tiefenentwässerung gefasste Wasser wird bis hinunter an den Böschungsfuß geführt.

Gleismonitoring im Dauereinsatz

Das Monitoringsystem sollte anfänglich nur während der Stabilisierungsarbeiten am Bahndamm für etwa zwei Monate installiert werden. Da die Verformungen nach den ersten Maßnahmen 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.

Fazit

Die Standsicherheitsuntersuchungen zeigten, dass die Ursache der Gleissenkung bzw. Böschungsrutschung auf den Wassereinfluss zurückzuführen war. Der Wassereinfluss bewirkte nicht nur einen Strömungsdruck innerhalb der Böschung, sondern hatte auch innerhalb der bindigen Böden im Laufe der Jahre zu einer Abnahme der Konsistenz geführt. Die aktuelle Senkung mit den geschilderten gravierenden Ausmaßen wurde auf die extremen Witterungsbedingungen Anfang 2010 zurückgeführt. Die beschriebenen dauerhaften Ertüchtigungsmaßnahmen sicherten den Damm und verhindern in Zukunft weitere Bewegungen.

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 zur Aufrechterhaltung einer sicheren Betriebsführung Sicherungsmaßnahmen eingeleitet werden, um die Gefährdung von Sachwerten und Personen zu vermeiden.



Dipl.-Ing. Ditte Becker

bis 09/2011 Ingenieurin für Dienstleistungen und Projekte Allsat GmbH, Hannover



Dipl.-Ing. Anette Rietdorf

Leiterin Dienstleistungen und Projekte Allsat GmbH, Hannover anette.rietdorf@allsat.de



Dipl.-Ing. Jürgen Rüffer

Geschäftsführer Allsat GmbH, Hannover Beratender Ingenieur und Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der Ingenieurkammer Niedersachsen für satellitengestützte Ingenieurvermessung juergen.rueffer@allsat.de



Dipl.-Ing. Sigrid Stavesand

Geschäftsführerin IGH Ingenieurgesellschaft Grundbauinstitut, Hannover info@igh-grundbauinstitut.de



Dipl.-Ing. Kai Tamms

Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur, Partner im Ingenieurbüro Drecoll, Hannover info@drecoll.de



Dipl.-Ing. Frank Wielitzek

Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur, Beratender Ingenieur, Partner im Ingenieurbüro Drecoll, Hannover wielitzek@drecoll.de

Summary

Track monitoring supervises embankment strengthening

On a railway embankment in the state of Hesse, persistent rainfall in March 2010 led to major substructure deformation and track subsidence. Following inspection of the ground, as an emergency measure a supporting wall was installed at the edge of the embankment using micropiles. While this work was ongoing, an automated monitoring system performed continual measurements so as to detect at an early stage any further track deformation or ground movement. The monitoring system was in continuous use up until the embankment was permanently strengthened with supporting disks and the insertion of a formation protection layer. The article describes the ground and stability tests carried out, the design of the monitoring system including data link and power supply, and the strengthening measures implemented.