

Automatisierte, geodätische Bauwerksüberwachung mit modernen Präzisions-Messrobotern : ein TM 3000 V/D von Leica im mehrwöchigen Härtetest für eine Brückenmessung der N13 in Sufers (GR)

Autor(en): **Haag, R. / Katowski, O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK =
Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **93 (1995)**

Heft 9

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-235185>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Automatisierte, geodätische Bauwerksüberwachung mit modernen Präzisions-Messrobotern

Ein Tm 3000 V/D von Leica im mehrwöchigen Härtetest für eine Brückenmessung der N13 in Sufers (GR)

R. Haag, O. Katowski

Bauwerke wie Brücken, Stützmauern usw. sind oft sehr überraschend Gegenstand dringender geodätischer Überwachung: Sei es, weil die Fundamente durch Umwelteinflüsse in Bewegung geraten sind oder weil Umbauten oder Sanierungen unter Verkehr diese nötig machen.

Die Grünenfelder und Partner AG aus Domat/Ems hat in Zusammenarbeit mit Leica, Heerbrugg, im Kanton Graubünden die geodätische Überwachung der Steilerbachbrücke der N13 in Sufers unter sehr harten und anspruchsvollen Wetter- und Genauigkeitsbedingungen während mehreren Bau- und Aufschütt-Phasen durchgeführt: Über vier Wochen permanent im November/Dezember 1993, weitere sechs Wochen permanent im April/Mai/Juni 1994 sowie mittels Einzelmessungen dazwischen und bis zum Abschluss im Juni 1995. Im folgenden Bericht werden die Vorgaben, Probleme und Resultate erläutert.

Des ouvrages tels que ponts, murs de soutènement et autres, deviennent souvent l'objet d'une urgente surveillance géodésique: soit en raison de fondations mis en mouvement par des influences de l'environnement soit en raison de transformations ou d'assainissements entrepris dans les conditions de déroulement du trafic. Le bureau Grünenfelder und Partner AG de Domat/Ems a procédé, dans le canton des Grisons et en collaboration avec la maison Leica de Heerbrugg, à la surveillance géodésique du pont Steilerbach de la N13 à Sufers, ceci pendant plusieurs phases successives de construction et de mise en remblais et dans des conditions dures et exigeantes du point de vue atmosphérique et de la précision: de façon permanente pendant quatre semaines en novembre et décembre 1993 puis pendant six semaines en avril/mai/juin 1994 ainsi que par des mesures individuelles intermédiaires jusqu'à la fin des travaux en juin 1995. Dans l'exposé qui suit, l'auteur présente les données de base, les problèmes et les résultats.

Le opere edili – come ponti, muri di sostegno, ecc. – sono spesso oggetto di urgente sorveglianza geodetica. Questo sia perché le fondamenta hanno subito movimenti provocati dagli influssi ambientali oppure perché le ristrutturazioni o i risanamenti sono stati effettuati senza dover interrompere di traffico.

La Grünenfelder e Partner SA di Domat/Ems, in collaborazione con la Leica di Heerbrugg, ha effettuato nel Canton Grigioni la sorveglianza geodetica del ponte Steilerbach sulla N13 nei pressi di Sufers. Durante le diverse fasi di costruzione e riempimento, le condizioni meteorologiche e di precisione sono state molto rigorose ed esigenti: infatti la sorveglianza si è protratta durante quattro settimane continue nel novembre/dicembre 1993, durante altre sei settimane in aprile/maggio/giugno 1994 e con ulteriori misurazione saltuarie fino alla fine dei lavori nel giugno 1995. Nel rapporto seguente si spiegano i dati, i problemi e i risultati.

1. Messproblem und Anforderungen

Bauwerk:

Steilerbachbrücke bei Sufers, 210 m lang, zweispurig, Nationalstrasse N 13 unter sehr starkem Verkehr, Brücke mit neun Feldern zwischen 20 und 25 Metern.

Messaufgabe:

Permanente Überwachung von 24

Brückenpunkten und drei Kontrollpunkten, in Lage Y (längs), X (quer) und Höhe Z, in zeitlichen Intervallen von zwölf oder weniger Stunden während den Umbaumaassnahmen über 20 Monate (1993–1995).

Genauigkeitsanforderungen:

±1 Millimeter Punktgenauigkeit (Standardabweichung in Lage und Höhe).

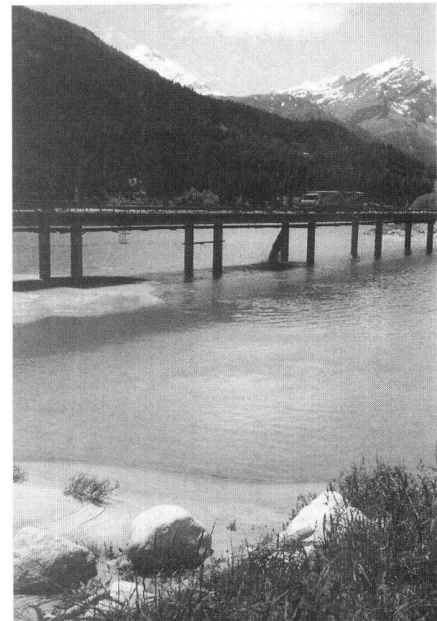


Abb. 1: Steilerbachbrücke und Stausee bei Sufers (Fotos R. Haag).

Resultatliefierung:

Innerhalb von 2–3 Stunden nach der Messung, bei Bewegung sofort.

Messung unter Verkehr,

mit der Möglichkeit einer automatischen aber kontrollierten Alarmierung bei Grenzwertüberschreitungen (1–4 cm je nach Bewegungsrichtung).

2. Fehlereinflüsse und Schwierigkeiten

Lage/Situation

Die Messungen erfolgten als 3-D-Vektoren mit Visuren über Wasser und Land ab einem speziell dafür errichteten Messpfiler und waren mit entsprechend grossen Refraktionseinflüssen belastet und starkem Blenden und Gegenlicht durch die Sonne ausgesetzt. Die eine Hälfte der Brückenpunkte musste zwischen den Leitplanken hindurch knapp über dem Belag und über beide Fahrbahnen hinweg mit entsprechender Behinderung durch den Verkehr gemessen werden. Der Verschmutzung der Zielpunkte (Reflektoren) durch Wetter und Verkehr musste mit speziellen Schutzmassnahmen soweit wie machbar vorgebeugt werden (Abb. 3).

Meteobedingungen

Das vierwöchige November/Dezember-Messwetter 1993 beinhaltete nebst Schnee, Regen, Nebel und prächtigem Sonnenschein vor allem einen Temperatursturz von plus 5 °C auf minus 11 °C sowie übermässig grosse Tag-/Nachtsschwankungen. Die Messungen 1994 und 1995 zeigten ebenso abwechslungsreiche Verhältnisse wie etwa der hundertjährige Kalender!



Abb. 2: Messroboter TM 3000 V/D.

Geometrie und Messanordnung

Dicht nebeneinander- bzw. versetzt- hintereinanderliegende Zielpunkte sind beim Anzielvorgang und für die fehlerfreie Distanzmessung schwierig auseinanderzuhalten. Der Tm 3000 V/D löst das mit einem geschickten Griff in die Trickkiste durch Signalsoptimierung und Fokussierung.

3. Systembeschreibung

Installationen

Der Messpeiler wurde auf ein Betonfundament von 1,8 m Tiefe frostsicher fundiert und mit einem Holzschutzhaus mit einem 6 mm Planglas-Fenster im Bereich der Brücken- und Kontrollvisuren vor dem Wetter geschützt. Strom- und Telefonanschluss waren nötig, um eine Fernabfrage der Resultate und die Überwachung und Steuerung des Messsystems aus unserem Hauptbüro in Domat/Ems zu ermöglichen. Die eingebaute Elektroheizung konnte trotz den sibirischen Temperaturen ausgeschaltet bleiben und verhinderte somit das Problem der beschlagenen Fenster und der bewegten Luftschichten. Die Brückenpunkte wurden mit speziellen Gewindebolzen versichert und die montierten Prismen (Reflektoren) mit Rohrbogen aus Kunststoff gegen Wetter und Spritzwasser geschützt. Die fünf Rückversicherungs- und Kontrollpunkte wurden gleich wie die Brückenpunkte installiert, hatten aber folgende Auflagen zu erfüllen:

- sichere, fixe Standorte, gewollt ebenfalls mit Visuren über Wasser und Land
- geometrisch sinnvolle Anordnungen zur Kontrolle des Messpeilers in Lage und Höhe
- ähnlich lange Distanzen wie die Brückenpunkte (Meteokorrekturen).

Messroboter: Theodolit TM 3000 V/D (ab Februar 1995 phasenweise der TCM 1800)

Der motorisierte Theodolit TM 3000 V/D (Abb. 2) vereint nebst Elementen des Präzisionstheodolit T 3000 wie z.B. Winkelabgriffsystem, Zweiachskompensator, Fernrohr und das Vertikal-Achssystem neu die Motoren für die Achsen sowie für die Fokussierlinse, einen Präzisions-Distanzmesser DI 2002 sowie vor allem eine CCD-Kamera und einen integrierten Commandprozessor. Die oberhalb des Fernrohres montierte CCD-Kamera ist über ein Optiksistem an das Fernrohr gekoppelt. Das Optiksistem bildet das auf der Bildebene des Fernrohres entstehende Bild des Zielpunktes mit 10-facher Nachvergrößerung auf dem CCD-Array der Kamera ab. Der das Sehfeld begrenzende Referenzrahmen, der das bei Theodoliten übliche Fadenkreuz ersetzt, kann ebenfalls auf dem Array abgebildet werden. Dies geschieht vor allem zum Zwecke der Kalibrierung (Orientierung) des CCD-Arrays zur Fernrohrziellinie.

Der Commandprozess (CDM) steuert die Kommunikation des TM 3000 V/D extern und intern wie z.B. Positionieren Hz und V, Fokussieren, Winkelmessungen etc. Auf seinem E²-PROM sind auch alle Daten abgespeichert, die für Korrekturen bei der Zielpunkt detektion sowie beim Fokussieren benötigt werden. Die Schnittstelle nach aussen ist eine serielle RS232C-Schnittstelle (9600 Baud). Verschiedene Softwaremodule im TM 3000 garantieren die reibungslose Funktion des Instrumentes. Für die Winkelmessung gilt die Genauigkeit von 0,15 mgon (DIN 18723). Darin sind definitionsgemäss der «Zielfehler» und der Winkelmessfehler von je etwa 0,1 mgon enthalten.

Temperatur- und Druckfühler

Die über zwei serielle Schnittstellen des Rechners an das System angeschlossenen Temperatur- und Druckfühler dienen

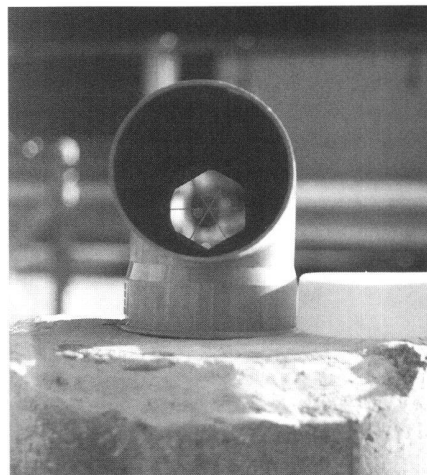


Abb. 3: Zielpunkt (Reflektor) mit Witterungsschutz.

Die neueste Generation der Präzisions-Messroboter löst Überwachungsaufgaben durch folgende Fähigkeiten sehr überzeugend, nämlich:

wirtschaftlich durch:

- fehlerfreie Messabläufe, praktisch unabhängig von Meteo, Verkehr usw.
- kurze Installations- und Messzeiten mit sofortiger Resultatmeldung
- sichere, aussagekräftige Messergebnisse dank interner Systemüberwachung

technisch mit:

- berührungsloser, dreidimensionaler Punktmessung ohne aktive Reflektoren
- automatisiertem Messablauf mit Präzisions-Videozielung und motorisiertem Antrieb
- Selbstüberprüfung und Korrektur von Bewegungen des eigenen Standortes
- Berücksichtigung von Justierwerten aus Meteo und Refraktion aus zeitgleichen Eichmessungen auf Kontrollpunkte
- Modemübertragung der Resultate

fehlertheoretisch mit:

- Anzielnauigkeiten von 1–3 cc, d.h. auf 200 Meter Distanz mit einer Lage- und Höhengenaugigkeit von ± 1 Millimeter
- extrem hoher Reproduzierbarkeit der Resultate

im Notfall mit:

- Alarmauslösung bei erreichten Grenzwerten und «positiver» Kontrollmessung.

einziger der Korrektur der Distanzmessungen. Die Messwerte der Fühler werden bei jeder Distanzmessung automatisch übernommen und zusammen mit den Rohwerten der Distanzmessung abgespeichert. Die aus den Fühlerwerten berechneten ppm-Werte können auf Wunsch ebenfalls mit den Distanzen abgespeichert werden. Die Konstanten im Distanzmesser werden durch die Steuersoftware bei der Initialisierung des Systems automatisch auf Null eingestellt.

Steuereinheit: PC unter DOS/Windows mit APSWin von Leica

Für die Steuerung des Systems wurde ein PC-486 (8 MB RAM / 150 MB Harddisk) eingesetzt und mit diversen Peripherie-

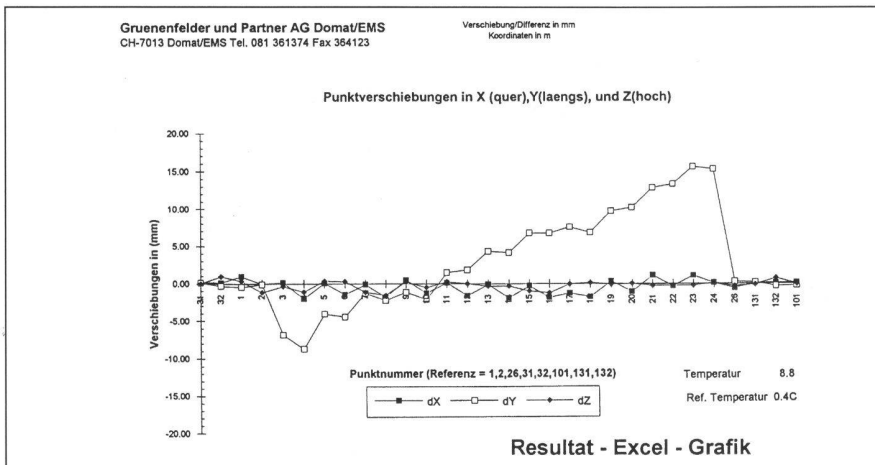


Abb. 4: Automatisch generierte Excel-Resultattabelle.

bzw. Softwarekomponenten ausgerüstet:

- 4-Kanal Schnittstellenkarte für den Anschluss von TM 3000, Meteo-Sensoren und Modem
- Bildverarbeitungskarte zur Auswertung der CCD-Kamera-erfassten Zielpunkte
- Video-Blaster Karte zur Darstellung des CCD-Bildes auf dem Rechner Monitor
- Steuersoftware APSWin von Leica unter Windows™.

Die Steuersoftware APSWin ermöglichte einen vollautomatischen Messablauf mit anschließender Auswertung und Übertragung der Ergebnisse via Modem. Jeder Messzyklus wurde durch einen festgelegten Software Timer (alle drei bzw. vier Stunden) gestartet. Die Punkte wurden in der vordefinierten Reihenfolge (Referenz-, Mess-, Referenzpunkt) gemessen. Während der Messung wurden die Ergebnisse bereits überprüft bezüglich eingehaltener Genauigkeit (aus Mehrfachmessung für jeden einzelnen Punkt). Nach Abschluss des Messzyklus wurden automatisch zunächst die Korrekturen für die Winkelmessungen aus den Referenzpunktmessungen ermittelt. Danach führte die Software einen Vergleich zur Nullmessung durch und speicherte die berechneten Daten auf der Harddisk des Rechners.

Modem und Datenübertragung

Das angeschlossene, leistungsstarke Modem diente der regelmässigen automatischen Datenübertragung per Telefon von der Baustelle zum Büro Gruenfelder und Partner AG (ca. 70 km). Das Modem diente auch der Systemübertragung durch die verantwortlichen Systembetreuer und dem schnellen Zugriff für Zusatzmessungen «ausser Fahrplan». Durch die jederzeit mögliche telefonische Verbindung zum System konnten die Präsenzzeiten vor Ort auf ein Minimum begrenzt werden. Im wesentlichen waren dies Installation und Abbau des Systems.

4. Messablauf, Justierung und Kontrollen

Der komplette Messvorgang für die 26 Punkte dauerte rund 30 Minuten, ist vollautomatisch abgelaufen und beinhaltete nebst Mehrfachwiederholungen bei durch Verkehr gestörten Messungen auch alle Justier- und Kontrollmessungen sowie deren direkte Berücksichtigung in der unmittelbar erstellten Resultatmeldung (Abb. 4).

Der Ablauf im Detail:

- Vorbereitung vor Ort: Lernprozess für alle Punkte je durch «Handzielung» oder via vorgängige Eingabe der Zielkoordinaten je Punkt
- Auslösung über Software-Timer oder via Modem ad hoc
- Selbstüberprüfung des Tm 3000 V/D (Stehachse, Kompensator) zur Kontrolle
- Messung der 3–5 Referenzpunkte in einer 1. Serie zwecks Justierung bezüglich Meteo
- Messung der 26 Brückenpunkte, inklusive Wiederholung bei Behinderung
- Zweitmessung der 3–5 Referenzpunkte als 2. Serie zur Kontrolle
- Berechnung der aktuellen Messreihe mit Korrekturen aus Temperatur usw.
- Reduktion der Resultate der beweglichen Brückenpunkte um die aktuelle Abweichung der Referenzpunkte von ihrem fixen Anfangswert
- Differenzbildung zwischen der aktuellen Messung M_n und der Nullmessung M_0 durch Transformation
- Resultatausgabe der Punktverschiebungen Delta X und Delta Y sowie der Einsenkung Delta Z je Brückenpunkt als Liste und als Grafik via Drucker, Fax oder Modem
- Ausweis der Genauigkeit der Messungen (Standardabweichung an Messung, Mittel).

Während beiden mehrwöchigen Perma-

nent-Messphasen wurden überschüssige Messungen gemacht, um die innere und äussere Genauigkeit des Systems besser beurteilen zu können. Nachts wurde alle vier, tagsüber alle drei Stunden gemessen.

5. Resultate

Eher unerwartet aber anscheinend völlig konform zu den «Regeln der Kunst» in der Statik wurde zwischen der Null-Messung M_0 vom 4. November 1993 und der Messung M_{76} vom 20. November 1993 eine Verkürzung der 210 m langen Brücke um 18 mm festgestellt. Gleichzeitig ging die Aussentemperatur von $+5,3^\circ\text{C}$ auf bis zu $-10,8^\circ\text{C}$ zurück, wodurch die Bauwerkstemperatur sich um geschätzte 12°C reduzierte. Die aus dem E-Modul direkt erchenbare Verkürzung der Brücke konnte also auch via Deformationsmessungen nachgewiesen und direkt den einzelnen Gerberträger-Brückenfeldern zugeordnet werden!

Als konstanteste Messreihe im Tagesverlauf erwies sich die Messung von 03.00 Uhr früh. Die Reproduzierbarkeit der Messresultate ist interessanterweise für alle Tages- und Nachtzeiten praktisch gleich gut und liegt allen erschwerenden Einflüssen zum Trotz bei den angestrebten $\pm 1\text{ mm}$ in X, Y und Z.

Die Robustheit des Messsystems auch bei extrem tiefen Temperaturen hat überzeugt. Nur gerade die PC-Uhr musste bei Unter-Null-Temperaturen immer wieder nachgestellt werden.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Korrektur des Einflusses von Temperatur- und Druckschwankungen statt messtechnisch (über die leider nur einseitig bei der Messstation wirtschaftlich erfassbaren Werte von Druck und Temperatur) sinnvoller rechnerisch aus mitgemessenen, fixen und vergleichbaren Passpunkten (Referenzpunkten) angebracht wird.

Das beeindruckendste Ergebnis aus der über zehnwöchigen permanenten Bauwerksüberwachung bei jedem Wetter ist jedoch die unerhört konstante und lichtunabhängige Videozielung, die jeden noch so geübten Operateur hinter sich lässt. Der Messroboter als Stellvertreter des Vermessungsingenieurs hat seinen Meister übertroffen!

Adressen der Verfasser:

René Haag, dipl. Ing. ETH
Gruenfelder und Partner AG
CH-7013 Domat/Ems
Olaf Katowsky, dipl. Ing.
Leica AG
CH-9435 Heerbrugg