

<b>Zeitschrift:</b>	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
<b>Band:</b>	93 (1995)
<b>Heft:</b>	9
<b>Artikel:</b>	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)
<b>Autor:</b>	Haag, R. / Katowski, O.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-235185">https://doi.org/10.5169/seals-235185</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 07.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# 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 il 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 misurazioni 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 Umbaumassnahmen über 20 Monate (1993–1995).

Genauigkeitsanforderungen:

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

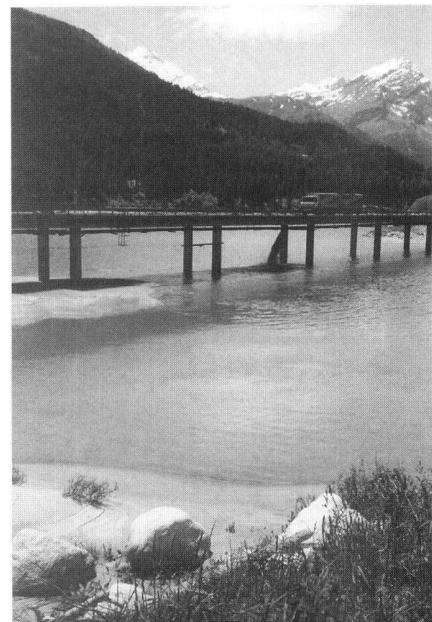


Abb. 1: Steilerbachbrücke und Stausee bei Sufers (Fotos R. Haag).

#### Resultatlieferung:

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-/Nacht-Schwankungen. Die Messungen 1994 und 1995 zeigten ebenso abwechslungsreiche Verhältnisse wie etwa der hundertjährige Kalender!

# Partie rédactionnelle



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 Signaloptimierung und Fokussierung.

## 3. Systembeschrieb

### Installationen

Der Messpfeiler wurde auf ein Betonfundament von 1,8 m Tiefe frostsicher fundiert und mit einem Holzschutzhause 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 Gewindestöcken versichert und die montierten Prismen (Reflektoren) mit Rohrbohlen 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 Messpfeilers 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. Winkelabgriffsysten, 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 Optiksystem an das Fernrohr gekoppelt. Das Optiksystem 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 E<sup>2</sup>-PROM sind auch alle Daten abgespeichert, die für Korrekturen bei der Zielpunktdetektion 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 Instruments. 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 dienten

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:

- Anzielgenauigkeiten von 1–3 cc, d.h. auf 200 Meter Distanz mit einer Lage- und Höhengenauigkeit von  $\pm 1$  Millimeter
- extrem hoher Reproduzierbarkeit der Resultate

#### im Notfall mit:

- Alarmauslösung bei erreichten Grenzwerten und «positiver» Kontrollmessung.

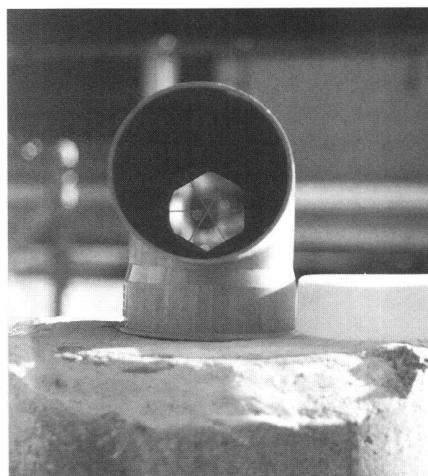


Abb. 3: Zielpunkt (Reflektor) mit Wittringsschutz.

einzig 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 Steuertoolsoftware 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-

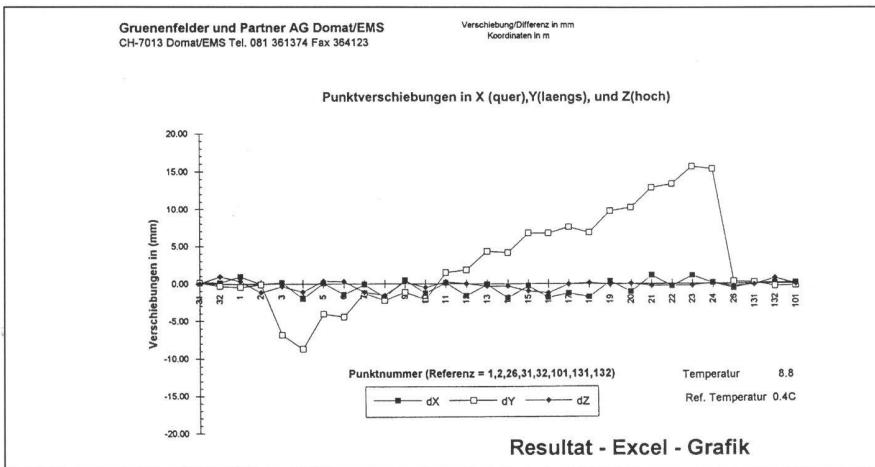


Abb. 4: Automatisch generierte Excel-Resultattabelle.

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 eingeschalteter 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 Grünenfelder 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.

ment-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 Mo vom 4. November 1993 und der Messung M76 vom 20. November 1993 eine Verkürzung der 210 m langen Brücke um 18 mm festgestellt. Gleichzeitig ging die Außentemperatur von +5,3 °C auf bis zu –10,8 °C zurück, wodurch die Bauwerks-temperatur sich um geschätzte 12 °C reduzierte. Die aus dem E-Modul direkt errechenbare 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  $\pm 1$  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 Vermessingenieurs hat seinen Meister übertroffen!

Adressen der Verfasser:

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