



Anwendungen von Videotalstationen

Applications of image-assisted total stations

Matthias Ehrhart, Dornbirn

Kurzfassung

Die Totalstationen verschiedener Hersteller sind heutzutage üblicherweise mit zusätzlichen Kameras ausgestattet. Allerdings werden die Kameras dieser Videotalstationen - im Englischen hat sich der Begriff image-assisted total station (IATS) etabliert - durch die verfügbare Instrumentensoftware hauptsächlich zu Dokumentationszwecken und zur Benutzerinteraktion verwendet. In diesem Artikel wird gezeigt, dass sich die Kameras auch als Sensoren für unterschiedliche Vermessungsanwendungen nutzen lassen. So stellt eine IATS bei Deformationsmessungen ein völlig kontaktloses Messsystem dar. Anstatt der herkömmlichen Messung zu Prismen werden hier natürliche Strukturen am überwachten Objekt als Ziele verwendet, welche mithilfe der Bilddaten automatisch detektiert werden können. Die Videodaten einer IATS bieten eine Möglichkeit, die bei Deformationsmessungen oft störende zeitliche Veränderung des vertikalen Refraktionswinkels abzuschätzen. In kleinräumigen geodätischen Netzen, wie sie im Bereich der Industrievermessung vorliegen, können durch IATS-Messungen die 3D Koordinaten von einfachen Zielmarken mit einer Genauigkeit von wenigen 0.01 mm bestimmt werden. Außerdem können die Videodaten einer IATS zur Verbesserung der prismenbasierten Zielverfolgung beitragen.

Schlüsselwörter: Totalstation, Video, Bild, IATS

Abstract

Today, the total stations of different manufacturers are usually equipped with additional cameras. However, with the given software the cameras of these image-assisted total stations (IATS) are primarily used for documentation purposes and user interaction. This article shows that the cameras can also serve as sensors for different measurement applications. In deformation monitoring, an IATS can be used as a fully contactless measurement system. Instead of conventional measurements to retroreflective prisms, natural structures of the monitored object are used as targets which are detected automatically by means of image processing. The IATS's video data can be utilized to assess temporal changes in the vertical refraction angle which often biases the results of deformation measurements. In small-scale geodetic networks, as present in industrial measurement, an IATS can be used to determine the 3D coordinates of simple target markings with an accuracy of a few 0.01 mm. The video data of an IATS can also contribute to the improvement of the conventional object tracking based on retroreflective prisms.

Keywords: total station, video, image, IATS

1. Einleitung

Die Totalstationen der drei großen Hersteller (Leica, Topcon, Trimble) sind heutzutage üblicherweise mit Kameras ausgestattet. Mangels entsprechender Softwareunterstützung können diese zusätzlichen Sensoren aber nicht für Vermessungsaufgaben, sondern lediglich zu Dokumentationszwecken bzw. zur Benutzerinteraktion verwendet werden. Das Finden und Erproben möglicher Vermessungsanwendungen von Videotalstationen (engl.: image-assisted total station, IATS) war Thema der Dissertation „Applications of image-assisted total stations: Concepts, experiments, results and calibration“ welche von 2012 bis 2017 am Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS) der TU Graz bearbeitet wurde [1]. Die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit werden im gegenständlichen Beitrag zusammengefasst.

2. System IATS

Im Gegensatz zu anderen Forschungsansätzen, bei denen eine konventionelle Totalstation durch den Einbau einer Kamera in eine IATS umgerüstet wird [2,3,4,5], wird in [1] ausschließlich mit kommerziell verfügbaren IATS gearbeitet (Leica MS50 und Leica MS60). Beide Instrumente sind mit einer Überblickskamera und einer Teleskopkamera ausgestattet. Bezüglich Bildgebung liegt der Unterschied zwischen den beiden Instrumenten darin, dass bei der Leica MS60 der Videostream mit bis zu 30 Hz an einen externen Computer übertragen werden kann, wobei man bei der Leica MS50 auf 10 Hz limitiert ist. Insbesondere die Bilddaten der Teleskopkamera, welche im Fernrohr der Totalstation verbaut ist, lassen sich aufgrund der 30-fachen optischen Vergrößerung hervorragend für Vermessungszwecke verwenden. Die Mess- und Bilddaten werden auf einen

externen Computer, welcher mittels Kabelverbindung an die IATS angeschlossen ist, übertragen und dort verarbeitet. Hierbei können aus den Bilddaten Messungen parallel zur Bildebene des Kamerasensors getätigt werden. Für die Tiefenkomponente bleibt die herkömmliche Methode der elektronischen Distanzmessung (EDM).

2.1 Komponenten

Zu den wesentlichen Komponenten einer IATS zählen a) die Teilkreise für die horizontale und vertikale Winkelmessung, b) der Neigungssensor, c) die Kamera, d) das EDM-Modul sowie e) entsprechende Software, welche die Messdaten der einzelnen Sensoren miteinander verknüpft. Insbesondere der Zusammenhang zwischen den Bildkoordinaten des Kamerasensors und den von der Totalstation gemessenen Horizontal- und Vertikalwinkeln ist keineswegs trivial und bedarf eines genauen Studiums. Für die Teleskopkameras der untersuchten IATs haben sich für die Beschreibung dieses Zusammenhangs folgende Parameter als notwendig erwiesen [1]: a) Kamerakonstante b) Rotation des Bildsensors um die Fernrohrachse c) ein Parameter für die radiale Kameraverzeichnung d) Koordinaten des Bildhauptpunktes e) Rotation zwischen EDM-Achse und Hauptachse der Kamera.

2.2 Kalibrierung

Die Kalibrierung der oben genannten Parameter ist ein wesentlicher Bestandteil des „Systems IATS“. Hierzu existieren in der Literatur verschiedene Ansätze [2,3,7] bei denen die Möglichkeit einer automatischen und genauen Verdrehung des Fernrohrs einer IATS genutzt wird. Diese Idee wird auch in [1] aufgegriffen wobei zusätzlich auf eine möglichst praktische Umsetzbarkeit der Kalibrierung geachtet wird. So wird neben dem zu kalibrierenden Instrument keine zusätzliche Messausrüstung benötigt. Die Messungen zur Kalibrierung der Parameter lassen sich vollautomatisch durchführen und benötigen ca. eine Stunde. Hierbei sei erwähnt, dass die Parameter, mit Ausnahme der Koordinaten des Bildhauptpunktes, eine gute zeitliche Stabilität aufweisen. Somit ist es für die meisten Anwendungen ausreichend, diese Parameter beim jährlichen Service überprüfen zu lassen. Die Koordinaten des Bildhauptpunktes können, analog zu den bekannten Prüfverfahren für die Instrumentenfehler, einfach und schnell im Feld bestimmt werden.

3. Deformationsmessung

Bei der Deformationsmessung, einer Kernkompetenz der Ingenieurgeodäsie [8,9], wurden kommerziell verfügbare IATS sowohl für statische als auch dynamische Messungen getestet. Bei statischen Messungen ist v.a. die Kontrolle der Stabilität des Messgeräts von entscheidender Bedeutung, da hier bei eher langsamen Objektbewegungen Messungen über lange Zeiträume durchgeführt werden. Gegenüber reinen Kamerasystemen zeigt sich in diesem Punkt ein großer Vorteil der IATS, da zum Zweck der Stabilitätskontrolle bequem auf die Funktionalität einer herkömmlichen Totalstation zurückgegriffen werden kann. Bei dynamischen Messungen, bei denen die Schwingungen des überwachten Objekts erfasst werden, ist die Messrate von großer Bedeutung. Gegenüber einem reinen Kamerasystem bietet die IATS mit ihrer berührungslosen Distanzmessung die Möglichkeit, die aus der Bildanalyse gewonnenen Bewegungen von der Einheit Pixel bzw. Winkel in Längeneinheiten umzurechnen.

Für sowohl statische als auch dynamische Messungen liegt der entscheidende Vorteil gegenüber konventionellen Messungen mit Totalstationen darin, dass am Objekt keine künstlichen Ziele (Prismen) angebracht werden müssen. Stattdessen werden markante natürliche Objektstrukturen mittels Bildanalyse detektiert und in verschiedenen Epochen verglichen. Somit muss das zu überwachende Objekt zu keiner Zeit betreten werden.

Da die aus Bildanalyse gewonnenen Messungen quer zur Bildebene eine höhere Qualität als die EDM-basierte Tiefenkomponente aufweisen (siehe Abschnitt 5), ist es von Vorteil wenn die Aufnahmegeometrie so gewählt werden kann, dass die kritischen Bewegungen des überwachten Objekts quer zur Bildebene der IATS auftreten. Eine Beurteilung der zu erwartenden Bewegungsrichtungen und -magnituden ist ohnehin integraler Bestandteil bei Deformationsmessungen [10].

3.1 Dynamische Messungen

Als Experimentierfeld für dynamische Messungen wurden verschiedene Fußgängerbrücken in Graz ausgewählt. Hierbei wurden aus Distanzen von ca. 30m IATS Messungen auf natürliche Strukturen der Brücken durchgeführt. Zu Vergleichszwecken wurden Messungen mit einer herkömmlichen Totalstation auf ein Prisma vorgenommen sowie Daten von Beschleunigungssensoren erfasst. Die durch Fußgänger und Jogger angeregten Schwingungen der Brücken mit Amplituden von

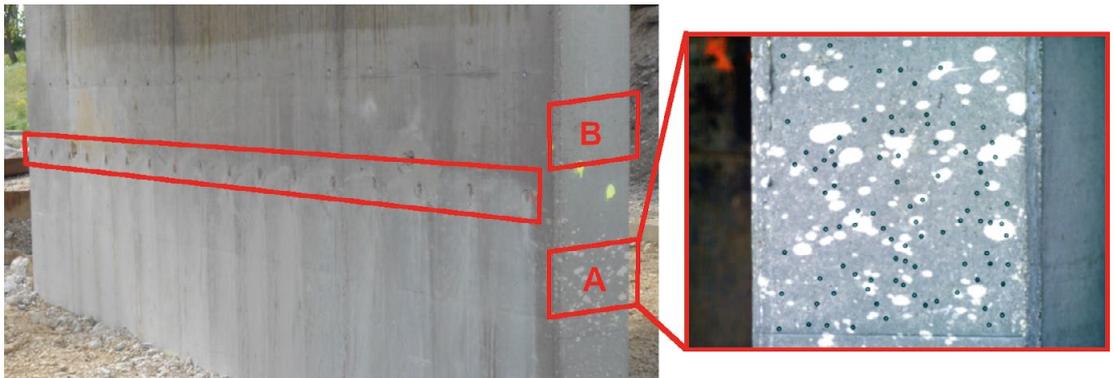


Abb. 1: Schädigung des Brückenpfeilers durch Quellsprengmittel zwischen den Regionen A und B sowie automatisch detektierte natürliche Ziele der Region A (schwarze Punkte im Bild rechts)

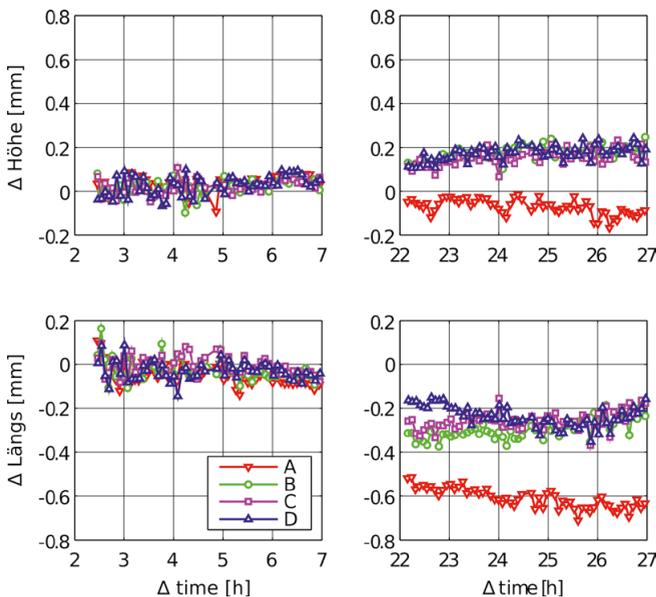


Abb. 2: Bewegungen der Beobachtungsregionen am Brückenpfeiler in vertikaler Richtung und längs der Brückenachse relativ zum Zeitpunkt des Einbringens des Quellsprengmittels

0.1 bis 3 mm und Frequenzen von 1.5 bis 3 Hz konnten mit den verwendeten IATS zuverlässig erfasst werden.

3.2 Statische Messungen

Messungen über einen längeren Zeitraum wurden bei einer vorgespannten Stahlbetonbrücke (Länge 62 m, Breite 10 m) über die Schwechat bei Mannswörth durchgeführt. Diese Brücke sollte altersbedingt ersetzt werden und wurde vor dem Abriss durch das Austrian Institute of Technology (AIT) für verschiedene Schadensanalysen verwendet [11]. Ein Experiment sah die

bewusste Schädigung eines Brückenpfeilers vor. Hierbei wurde der Pfeiler an verschiedenen Stellen durchörtert und die Bohrlöcher anschließend mit einem Quellsprengmittel befüllt. Mit der IATS wurden an unterschiedlichen Stellen am Brückenpfeiler Zielregionen definiert, deren Bewegungen in unterschiedlichen Epochen erfasst werden sollten. Abbildung 1 zeigt die Regionen A und B, zwischen denen die Schädigung des Pfeilers vorgenommen wurde, sowie exemplarisch detektierte markante natürliche Punkte der Region A.

Die Messungen wurden über zwei Tage durchgeführt wobei die IATS über Nacht vom Stativ entfernt wurde. Die Stationierung bzw. Stabilitätskontrolle der IATS erfolgte über stabile Referenzpunkte am Wiederlager der Brücke und an umliegenden Gebäuden. Abbildung 2 zeigt die Bewegungen der Beobachtungsregionen am Brückenpfeiler. Die relative Zeitangabe bezieht sich auf das Einbringen des Quellsprengmittels in die Bohrlöcher des Pfeilers. Nach einer Latenzzeit, welche auch in der Beschreibung des Quellsprengmittels erwähnt wird, zeigt sich aus den IATS-Messungen ein eindeutiger Versatz zwischen der Region A und den Regionen B-D.

Obwohl der Versatz nur wenige 0.1 mm groß ist, kann er mittels IATS eindeutig gemessen werden - und zwar aus einer sicheren Entfernung von über 20 m und ohne das gefährdete Objekt je betreten zu haben. Durch Kenntnis der relativen Lage der Beobachtungsregionen können weitere Analysen, wie z.B. Neigungsänderungen des Pfeilers und des Brückendecks, vorgenommen werden [1].

4. Refraktion

Bei Deformationsmessungen über längere Zeiträume kann eine Änderung des vertikalen Refraktionswinkels zu scheinbaren Höhenänderungen und somit zu fehlerhaften Interpretationen der Messergebnisse führen. Deshalb wurde der Versuch unternommen, diese Änderung des Refraktionswinkels mithilfe der Videodaten einer IATS zu bestimmen. Das grundlegende Prinzip hierfür ist, den vertikalen Refraktionswinkel δ aus der turbulenten Fluktuation des Einfallswinkels s_δ zu bestimmen [12,13]. Ein Wert für s_δ kann aus der Standardabweichung des Bildflimmerns eines Ziels im Videostream der IATS bestimmt werden. Bei Deformationsmessungen ist es nicht notwendig, den absoluten Wert des Refraktionswinkels δ zu kennen. Es genügt, wenn seine Änderung $\Delta\delta$ bezüglich einer Referenzepoche bekannt ist.

Zur experimentellen Überprüfung der Theorie wurde Ende November 2016 bei Temperaturen zwischen 6° und 18°C und sonniger Witterung ein Versuch gestartet. Auf einer ebenen Wiese wurde ein Ziel in einer Distanz von ca. 100 m zur IATS zwischen 8:00 und 15:00 Uhr beobachtet. Die Stabilität des Höhenunterschieds zwischen IATS und Ziel wurde mittels Nivellement überprüft. So darf geschlossen werden, dass Änderungen im gemessenen Vertikalwinkel auf Refraktionseffekte zurückzuführen sind.

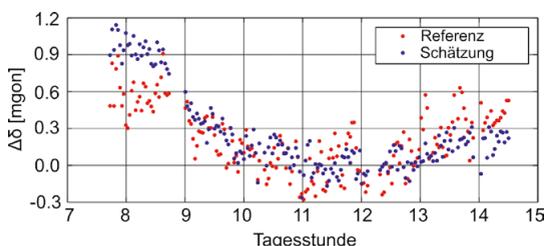


Abb. 3: Änderungen des vertikalen Refraktionskoeffizienten $\Delta\delta$

Abbildung 3 zeigt die Referenzwerte für die Änderung des vertikalen Refraktionswinkels $\Delta\delta$, welche aus den gemessenen Vertikalwinkeln und dem bekannten, konstanten Höhenunterschied (Nivellement) abgeleitet wurden. Außerdem werden die aus dem Bildflimmern abgeleiteten Schätzwerte dargestellt. Für das gegenständliche Experiment können in der Zeit von 9:00 bis 15:00 gute Werte für die Änderung des Refraktionswinkels ermittelt werden. Bei einer Deformationsmessung könnten diese Werte dazu verwendet werden, die gemessenen Vertikalwinkel zu den Zielpunkten zu

korrigieren. Im Zeitraum von 8:00 bis 9:00 Uhr treten jedoch große Diskrepanzen zwischen Referenz- und Schätzwerten auf. Da die Ursache für dieses Verhalten bis heute ungeklärt ist, bedarf es zu diesem Thema weiterer Experimente, wobei Anmerkungen zu einer möglichen Gestaltung dieser Experimente in [1] angeführt werden. Es sei erwähnt, dass die grundsätzliche Idee, den Refraktionswinkel aus dessen Standardabweichung zu schätzen, nicht auf die vertikale Refraktion beschränkt ist. So könnte z.B. der Versuch unternommen werden, die Seitenrefraktion im Tunnelbau [14,15] auf ähnliche Weise zu kompensieren.

5. Industrievermessung

Im Zuge unterschiedlicher Experimente hat sich gezeigt, dass mithilfe einer IATS hochgenaue Winkelmessungen möglich sind. Dies resultiert auch aus den Eigenschaften der Teleskopkamera, bei welcher ein Pixel einem Winkelwert von ca. 0.6 mgon entspricht. Da die bildbasierten Messungen zu geeigneten Zielpunkten mit Subpixel-Genauigkeit vorgenommen werden können, lassen sich für die daraus resultierenden Winkel sehr hohe Genauigkeiten erwarten.

Für die Überprüfung der Genauigkeit der Winkelmessung des „Systems IATS“, welches aus den in Abschnitt 2.1 beschriebenen Komponenten besteht, wurde im Labor des IGMS eine überbestimmte Netzmessung durchgeführt. Das Netz bestand aus vier Instrumentenstandpunkten, in welchen je vier Beobachtungssätze zu acht Zielpunkten durchgeführt wurden. Die Zielpunkte waren kreisrunde Marken bzw. die beiden Endmarkierungen eines Industriemaßstabes.

Aus dem Ausgleich der Sätze resultierten phantastische Werte von 0.04 mgon (1σ) für die empirischen Standardabweichungen der horizontalen und vertikalen bildbasierten Winkelmessung. Dieser Wert berücksichtigt allerdings keine systematischen Fehler wie z.B. Fehler in der Zielpunkt-detektion. Beispielsweise werden die verwendeten kreisrunden Zielmarken am Bildsensor als Ellipsen abgebildet, deren Zentrum aber nicht mit dem Zentrum des Kreises übereinstimmt. Durch Kenntnis der relativen Verdrehung von Ziel- und Bildebene, welche mit herkömmlichen Messmethoden bestimmt werden kann, lässt sich dieser Versatz aber berechnen und korrigieren. Um eine realistische Abschätzung der Genauigkeit der Winkelmessung für das „System IATS“ treffen zu können, wurde mit den Messdaten der Netzmessung eine Varianzkomponentenschätzung

durchgeführt. Daraus resultierten die realistischen und immer noch hervorragenden Werte von besser als 0.1 mgon (1σ) für horizontale und vertikale bildbasierte Winkelmessungen - allerdings unter Laborbedingungen.

Die Genauigkeiten (95 % Konfidenzellipse und äußere Zuverlässigkeit) der 3D Koordinaten der Netzpunkte wurden mit wenigen 0.01 mm geschätzt. Der Maßstab des Netzes wurde hierbei über einen 1.3 m langen Invar-Industriemaßstab eingeführt. Dieser könnte für praktische Anwendungen auch durch Präzisionsnivellierlatten, welche als Standardausrüstung in jedem Ingenieurbüro verfügbar sind, ersetzt werden. Die automatisierten Messungen auf codierte Nivellierlatten mit einer IATS wurde in der Literatur bereits behandelt [16].

6. Zielverfolgung

In den Abschnitten 3 bis 5 wurde aufgrund der hohen Genauigkeitsanforderungen ausschließlich die Teleskopkamera der IATS verwendet. Eine Anwendung, bei der die Überblickskamera der IATS zum Einsatz kommt, ist die Verbesserung der konventionellen prismenbasierten Zielverfolgung. Hier kann es vorkommen, dass irrtümlicherweise ein falsches Ziel gemessen wird oder dass die Zielverfolgungseinheit mit einem kleinen Gesichtsfeld (ca. 2 gon [17]) das Prisma verliert. Nach letzterem ist ein grobes Wiederauffinden des Prismas nötig, um die Zielverfolgung fortsetzen zu können.

Für beide Probleme (Wiederauffinden und Identifikation) bieten die Bilddaten der Überblickskamera aufgrund des wesentlich größeren Gesichtsfelds (17.2 gon x 13.0 gon) Lösungsmöglichkeiten. Der grundsätzliche Ansatz ist hierbei derselbe: im Videostream der Überblickskamera wird das Objekt (z.B. Baumaschine), welches das Prisma trägt, mittels visuellem Tracking verfolgt. Hierzu wird der auf Farbinformation basierende

CAMSHIFT (continuously adaptive mean shift, [18]) Algorithmus verwendet.

Abbildung 4 zeigt einen möglichen Ablauf für die Zielpunktidentifikation: zu Beginn (linkes Bild) wird richtigerweise das Prisma auf dem Lotstock verfolgt. Im Videostream der Überblickskamera wird die Warnweste des Vermessers verfolgt. Nachdem sich dieser hinter einem anderen Prisma vorbei bewegt (mittleres Bild), wird irrtümlicherweise das falsche Prisma verfolgt. Wird nun an der Position im rechten Bild eine Messung ausgelöst, gibt das System eine Warnung aus, da der zuvor definierte Maximalabstand (hier: Armlänge) zwischen visuell verfolgtem Ziel und Position des Fernrohrs überschritten wird.

Verliert die konventionelle Zielverfolgungseinheit das Prisma, ist das Objekt aufgrund des etwa 10x größeren Gesichtsfelds immer noch im Bild der Überblickskamera sichtbar (wie z.B. in Abbildung 4 rechts). Nach Umrechnen der Bildkoordinaten des visuell verfolgten Objekts in Winkelwerte kann das Fernrohr rasch in die entsprechende Richtung positioniert werden. Das bildbasierte Wiederauffinden des Prismas ist 4 bis 10x schneller als momentan verfügbare Methoden für die Grobsuche des Prismas [17].

7. Ausblick

Die in diesem Beitrag vorgestellten Anwendungen zeigen, dass die Kameras kommerzieller Totalstationen als leistungsfähige Sensoren für verschiedene Vermessungsaufgaben genutzt werden können. Für die Verwendung in der geodätischen Praxis ist es jedoch notwendig, den externen Computer, auf welchem die Mess- und Bilddaten in den präsentierten Forschungsarbeiten verarbeitet werden, aus den Komponenten des gegenständlichen „Systems IATS“ zu eliminieren. Hierzu muss die Bildverarbeitung auf dem in der Totalstation verbauten Computer durchgeführt werden. Denk-



Abb. 4: Visuelle Zielverfolgung im Bild der Überblickskamera mit automatisch detektiertem Objekt (Warnweste des Vermessers), Position des Fernrohrs (rotes Kreuz) und Gesichtsfeld der konventionellen Zielverfolgungseinheit (roter Kreis)

bar ist auch die Verarbeitung auf einem externen, drahtlos verbundenen Feldcontroller. Der Zugang zu den Kameradaten ist technisch offensichtlich möglich, da sowohl auf der Totalstation als auch auf dem Feldcontroller der Videostream in nahezu Echtzeit angezeigt werden kann. Ebenso sollte die Rechenleistung des Computers der Totalstation bzw. des Feldcontrollers für die Bildverarbeitung ausreichen. Hierzu sei erwähnt, dass die in [1] verwendeten Bildverarbeitungsalgorithmen teilweise erstmals auf Computern der 1980er Jahre implementiert wurden.

Referenzen

- [1] *Ehrhart M. (2017): Applications of image-assisted total stations: Concepts, experiments, results and calibration.* Shaker Verlag, Aachen.
- [2] *Walser B. H. (2004): Development and calibration of an image assisted total station.* Dissertation No. 15773, ETH Zürich.
- [3] *Wasmeier P. (2009): Grundlagen der Deformationsbestimmung mit Messdaten bildgebender Tachymeter.* Dissertation DGK C-638, TU München.
- [4] *Bürki B., Guillaume S., Sorber P., Oesch H.-P. (2010): DAEDALUS: A Versatile Usable Digital Clip-on Measuring System for Total Stations.* Proc. Int. Conf. on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Zürich, S. 1-10.
- [5] *Hauth S., Schlüter M., Thiery F. (2012): Modular Imaging Total Stations - Sensor Fusion for high precision alignment.* Proc. 3rd Int. Conf. on Machine Control and Guidance, Stuttgart, S. 202-210.
- [7] *Vogel M. (2006): Vom Pixel zur Richtung: Die räumlichen Beziehungen zwischen Abbildungsstrahlen und Tachymeterrichtungen.* Dissertation, Schriftenreihe Fachrichtung Geodäsie 20, TU Darmstadt.
- [8] *Brunner F. K. (2007): On the methodology of Engineering Geodesy.* In: J. Appl. Geodesy 1(2), S. 57-62.
- [9] *Kuhlmann H., Schwieger V., Wieser A., Niemeier W. (2014): Engineering Geodesy - Definition and Core Competencies.* In: J. Appl. Geodesy 8(4), S. 327-334.
- [10] *DIN 18710-4:2010-09, Ingenieurvermessung - Teil 4: Überwachung.*
- [11] *Alten K., Ralbovsky M., Vorwagner A., Topfitzer H., Wittmann S. (2017): Evaluation of Different Monitoring Techniques During Damage Inflection on Structures.* In: Procedia Eng. 199, S. 1840-1845.
- [12] *Brunner F. K. (1979): Vertical refraction angle derived from the variance of the angle-of-arrival fluctuations.* International Astronomical Union Symposia 89, S. 227-238.
- [13] *Brunner F. K. (2014): Diskussion der Modellierung der Vertikalrefraktion mit dimensionslosen atmosphärischen Parametern.* In: Allg. Verm.-Nachrichten 121(6), S. 226-230.
- [14] *Hennes M., Dönicke R., Christ H.-P. (1999): Zur Bestimmung der temperaturgradienteninduzierten Richtungsverschwenkung beim Tunnelvortrieb.* In: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 97(8), S. 418-426.
- [15] *Strobl K. (2017): Über mögliche Auswirkungen systematischer Fehlereinflüsse auf die Durchschlagsgenauigkeit bei Tunnel-Hauptkontrollmessungen am Beispiel des Koralmtunnels.* Proc. Ingenieurvermessung 2017, Graz, S. 457-469.
- [16] *Wiedemann W., Wagner A., Wunderlich T. (2017): Nivelieren mit bildunterstützten Totalstationen.* Proc. Ingenieurvermessung 2017, Graz, S. 47-61.
- [17] *Ehrhart M., Lienhart W. (2017b): Object tracking with robotic total stations: Current technologies and improvements based on image data.* In: J. Appl. Geodesy 11(3), S. 131-142.
- [18] *Bradski G. R. (1998): Computer Vision Face Tracking For Use in a Perceptual User Interface.* Intel Technology J. Q2, S. 1-15.

Anschrift des Autors

Dr. Matthias Ehrhart, AVD Vermessung ZT GmbH, Eisen-gasse 2, 6850 Dornbirn
E-Mail: matthias.ehrhart@avd-zt.at