

P. Wasmeier

# Videotachymetrie – Sensorfusion mit Potenzial

**Die führenden Instrumentenhersteller setzen in ihren neuesten Geräteentwicklungen verstärkt auf die Einbindung von Bildinformationen. Die entsprechende Funktionalität ist derzeit noch rein unterstützender Natur; für die Zukunft sind jedoch Anwendungsszenarien zu erwarten, die auf die aktive Messung mittels tachymetrischer Kamerabilder aufbauen werden.**

**Am Lehrstuhl für Geodäsie der Technischen Universität München werden innerhalb des Forschungsprojekts alpEWAS mit einem Prototypen der Firma Leica Geosystems Voraussetzungen, Möglichkeiten, Einschränkungen und Einsatzbereiche der Präzisionsvermessung mit Videotachymetern, vorzüglich im Hinblick auf die Messung von Deformationen, untersucht.**

## 1 Bisherige Entwicklungen

Der Einsatz bildgebender Komponenten in der Sensorik der Ingenieurgeodäsie – über die bekannten Aufnahmesysteme der Ingenieurphotogrammetrie hinaus – ist nicht erst eine Erfindung der jüngeren Vergangenheit. Sie lässt sich bereits auf das Ende der 80er Jahre datieren, noch vor der Einführung der reflektorlosen Distanzmessung. Die Entwicklung zielte daher hauptsächlich in den Bereich der industriellen Präzisionsvermessung mit auf Vorwärtschnitten basierenden Theodolitmesssystemen, wobei die Anzielung des einzuschneidenden Punktes durch Bildauswertung automatisiert werden sollte. Die Signalisierung des Zielpunktes konnte dabei durch eine feste (kreisförmige) Markierung oder durch einen projizierten Laserpunkt vorgenommen werden, wobei letzterer entweder von einem Theodolit des Systems selbst (Master-Slave-Prinzip) oder von einer externen Laserquelle stammen konnte. Als Instrumente zu nennen sind in diesem Zusammenhang der Kern E2-SE für das System ECDS [GOTTWALD 87] sowie der Wild TM3000V [KATOWSKI 89].

Die Entwicklung der Videotheodolite stellte einen entscheidenden Schritt zur zunehmenden Automatisierung der Ingenieurgeodäsie dar; nicht zuletzt, da für die automatische Anzielung der Markierung erstmals Schrittmotoren zur autonomen Bewegung kommerziell eingesetzt wurden. Da die Zielgruppenausrichtung jedoch sehr stark auf die präzise Industrie- und Anlagenvermessung eingeschränkt war, wurden sie innerhalb weniger Jahre durch die Markteinführung der Lasertracker (1991 durch Leica)

wieder abgelöst. In der Folge war die Nachfrage nach bildgebenden Lösungen gering, und die Entwicklungen führten in andere Richtungen. Die wenigen verbliebenen Instrumente der TM3000V-Serie fanden hauptsächlich Einsatz in der akademischen Forschung, vorzüglich an der TU Wien unter Prof. Kahmen [KAHMEN u. DESEIXAS 99], [KAHMEN u. REITERER 04], [KAHMEN u. REITERER 06]. Ein Nebenprodukt der ersten Videotheodolit-Generation ist jedoch die heute übliche automatische Zielerfassung von Prismen mittels CCD-Chips [HAAG 97].

Daneben gibt es eine Vielzahl von Eigenentwicklungen, die die Grundidee der Videotachymetrie in unterschiedlichen Ausbaustufen aufgreifen: z.B. astronomische Beobachtungen mittels aufgesetzter Okularkamera [GERSTBACH 99] oder das System Quarryman von MDL zur einfachen Erzeugung von Drahtgittermodellen von Tagebauwerken [GONG undatiert]. Tachymetrie-nahe Systeme sind ein photogrammetrisches Schwenk-Neige-System auf der Basis eines Geodimeter CD 400 von [UFFENKAMP 95] oder das System TOTAL der Universität Bochum [JURETZKO 04], das auf einem mit mehreren Kameras aufgerüsteten TCRM1102 von Leica beruht.

Eine Einordnung und ein Ausblick auf weiterführende Entwicklungen gibt [SCHERER 07], eine umfangreiche Literaturübersicht bis zu diesem Zeitpunkt ist in [WUNDERLICH 05] zu finden.

In den letzten Jahren führt die Verfügbarkeit von billigen, Massenartikel-tauglichen digitalen Kamerachips bei gleichzeitiger exponentieller Steigerung der Rechnerleistungen immer mehr zu einer gesellschaftlichen Verschiebung des Informationsverständnisses hin zur graphisch und bildlich vorgehaltenen Information. Diese Veränderung zeigt sich auch im Geräte repertoire des Ingenieurgeodäten, in dem sich Laserscanner innerhalb weniger Jahre als Standardinstrumente etabliert haben. Das Aufnahme- und Auswerteprinzip von Punktwolken erinnert an die Auswertung geodätischer Messbilder: nicht mehr der abstrakte, bei der Aufnahme bewusst gewählte Einzelpunkt ist entscheidend, sondern eine homogene Masse von primär eigenschaftslosen Messpunkten wird zu Darstellung einer (räumlichen) Struktur verwendet, aus der dann durch entsprechende Algorithmen wieder semantische Bedeutung für Einzelpunkte abgeleitet werden kann. Die große Menge an zusätzlicher Messinformation bedient in erster Linie die visuellen Ansprüche des Betrachters.

Die Auswirkungen dieses gesamtgesellschaftlichen Trends auf die Geodäsie sind dabei nicht zuletzt die Erschließung neuer Betätigungsfelder durch die Fusion von Bildinformation und geodätischer Messdaten, z.B. für texturierte Objektmodelle, 3D-Animationen oder Darstellungen in Google Earth; aber auch der Wunsch nach

zunehmender Komfortsteigerung des Messablaufs selbst z.B. durch graphische Interaktionsmöglichkeiten am Instrument.

Die führenden Hersteller geodätischer Instrumente haben dementsprechend in den letzten Jahren auf diesen Trend reagiert, und kombinieren die Fähigkeiten der Tachymetrie mit den Möglichkeiten der Bilderfassung und -darstellung. Im Jahr 2002 präsentierte die Firma Sokkia auf der *Intergeo* den Geräteprototypen SET 3110MV, ausgerüstet mit einer fokussierbaren Farbkamera (Abb. 1 links) anstatt eines Okulars. Obwohl diese Studie auf den koreanischen Homepages des Herstellers noch vertreten ist, wurde das Instrument bisher nicht auf dem Markt eingeführt und wird auch nicht weiter verfolgt [SOKKIA 08].

Zwei Jahre später wurde unter dem Schlagwort „Capture Reality“ das System GPT-7000i der Firma Topcon erstmals vorgestellt. Es verfügt auf Basis der bestehenden GPT-7000-Baureihe über eine CCD-Okularkamera mit  $640 \times 480$  Pixel bei 30facher Vergrößerung und eine zusätzliche Weitwinkel-Übersichtskamera mit 4fachem Zoom [TOPCON 05]. Die motorisierte Weiterentwicklung zur Imaging Station (Abb. 1 Mitte), ausgestattet mit 1,3 MPixel CMOS-Kameras und WLAN-Funktionalität, ermöglicht einen überwachten Arbeitsablauf, indem abzusteckende oder bereits gemessene Punkte in das Livebild eingezeichnet werden können sowie eine Vielzahl von Robotik- und Fernsteuerungsanwendungen. Eine Messung direkt im Display ist möglich; des Weiteren gibt es Funktionen zur automatischen Ecken- und Kantenerkennung. Topcon positioniert sein System als Kombinationsgerät zwischen Tachymeter und einfachem Laserscanner (bis zu 20 Punkte/Sekunde) bei gleichzeitiger digitaler Bilderfassung. Die Verlagerung von Arbeitsabläufen auf das automatisierte System wird gefördert; Bildauswertungsalgorithmen wählen beispielsweise selbständig relevante Punkte für ein irreguläres Objektskan-Raster aus [TOPCON 08].

Sokkia gehört seit März 2008 zum Topcon-Konzern. Es ist davon auszugehen, dass bis 2011 eine gemeinsame Geräteplattform entwickelt wird, die dann auch mit Produkten im Bereich der Videotachymetrie ausgestattet sein wird.

Eine vergleichbare Marktausrichtung weist auch die VX Spatial Station der Firma Trimble auf (Abb. 1 rechts). Sie verfügt über eine exzentrisch angebrachte 3,2 MPixel Kamera mit einem erweiterten Sehfeld von  $18,3 \text{ gon} \times 13,7 \text{ gon}$  und einer Schärfentiefe ab 3 m bis  $\infty$  zusätzlich zum herkömmlichen Fernrohr [TRIMBLE 07]. Durch entsprechende Kalibrierung gelingt es, das physikalische und das virtuelle Fadenkreuz der Kamera zur Deckung zu bringen und darüber hinaus jedem Pixel des Bildes unmittelbar die zugehörige Richtung zuzuordnen. Auch hier liegt der Schwerpunkt des Einsatzes der Kamera im Overlay von Echtzeitbild und Messdaten, sowie in der Punkt- und Bereichsauswahl am Controller. Die Scanfunktion der Spatial Station verarbeitet bis zu 15 Punkte/Sekunde. Weiterführend unterstützt die bildgestützte terrestrische 3D-Vermessung die Kombination dieser Daten mit bestehenden photogrammetrischen Informationen.



Abb. 1: Sokkia SET 3110MV – Topcon Imaging Station – Trimble VX Spatial Station

Beide Systeme nutzen die Videofunktionalität zum gegenwärtigen Zeitpunkt zur Vereinfachung der Steuerung (Bereichsauswahl, Punktauswahl), zum echtzeitfähigen Overlay von Messdaten und zu Dokumentationszwecken innerhalb der jeweiligen herstellereigenen Applikationen. Eine weiterführende Verwendung der Bildinformationen in nutzerspezifischen Anwendungen bzw. eine offene Schnittstelle ist nicht vorgesehen.

Die Firma Leica fokussiert in den letzten Jahren hauptsächlich auf das X-Function-Konzept und bietet momentan noch keinen Videotachymeter als Serienprodukt. Ein erster Prototyp auf Basis der Baureihe TCRA1100 wurde von [WALSER 05] unter dem Namen *Image Assisted Total Station* (IATS) vorgestellt. Die daraus gewonnenen Erfahrungen werden nun in einer wenige Instrumente umfassenden Kleinserie weiter verwendet, die auf der aktuellen TCRA1200-Reihe aufbaut und in erster Linie für Forschungs- und Pionierarbeiten eingesetzt wird.

## 2 Der Prototyp IATS2

Der Lehrstuhl für Geodäsie der TU München konnte Ende 2007 ein Instrument dieser Prototypen-Serie erwerben.



Abb. 2: Der Prototyp IATS2

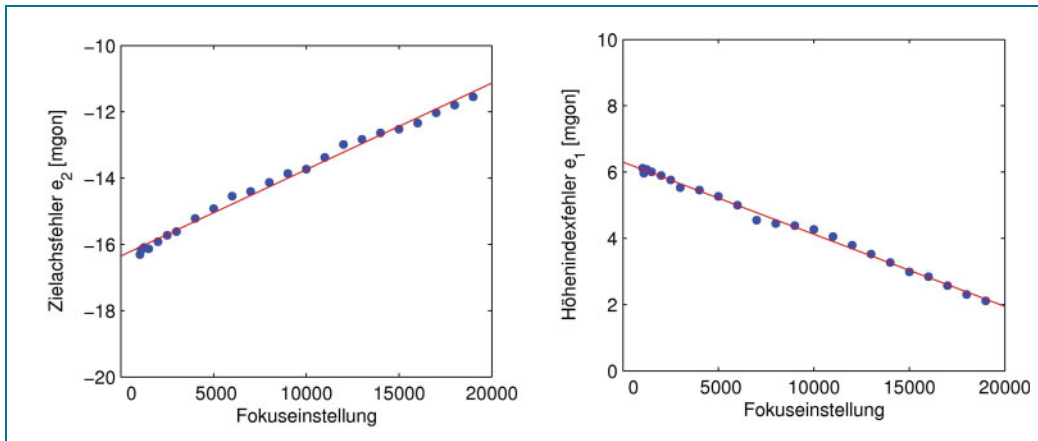


Abb. 3: Achsfehler in Abhängigkeit von der Fokussierung

Die Hauptmittel entstammen der Förderung durch das BMBF im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts *alpEWAS – Development and Testing of an Integrative 3D Early Warning System for Alpine Instable Slopes*, in dessen Rahmen ein erster Einsatz geplant ist. Basisinstrument ist ein TCRA1201+ R1000 mit einer Richtungsgenauigkeit von 1" (0,3 mgon) und einer Genauigkeit der reflektorlosen Distanzmessung von 2 mm + 2 ppm bis 500 m (Abb. 2) [LEICA 07]. Das Okular und die Strichkreuzplatte sind ersetzt durch einen 1/2 Zoll CMOS-Farbchip mit einer Auflösung von 2560 × 1920 Pixel bei 2,2 μm Pixelgröße. Die Fokussierlinse des optischen Aufbaus wird beibehalten und der Fokussiererring mit einem Servomotor gekoppelt, so dass wahlweise rechnergesteuerte oder manuelle Scharfstellung möglich ist. Alle weiteren bekannten Funktionalitäten des Basisinstrument (Applikationen, ATR, Lockmodus, ggf. PowerSearch usw.) bleiben davon unbeeinflusst erhalten. Die Kommunikation mit einem Steuerrechner erfolgt auf physikalisch getrennten Wegen: das Tachymeter wird über die GeoCOM-Schnittstelle angesprochen; die Kamera über einen USB2.0-Anschluss und der Fokussiermotor über eine serielle Schnittstelle. Hier zeigt sich der noch experimentelle Status des Instruments: für Weiterentwicklungen ist die Kombination zu einer gemeinsamen Datenleitung Voraussetzung. Als vorteilhaft erweist sich jedoch, dass man auf sämtliche Teilsysteme unmittelbaren Zugriff hat und somit das Potential der bildgebenden Tachymetrie in beliebiger Anwendung selbst ausreizen und regeln kann.

fokussierungsabhängigen Zielachs- und Höhenindexfehler bewirkt. Da auch die Kamerakonstante und damit der Abbildungsmaßstab im Bild von der Stellung der Zwischenlinse abhängt, ist eine Kalibrierung an mehreren Stützstellen des Fokussierbereichs notwendig. Diese basiert auf dem Prinzip des Virtuellen Passpunktfelds nach [HUANG u. HARLEY 89]. Ein einzelner Passpunkt kann dabei, je nach Ausrichtung der Kamera, an verschiedenen Positionen der Bildebene abgebildet werden. Da die Positionierungsänderungen der Kamera über die Teilkreise des Tachymeters eindeutig bestimmt werden können, ist es möglich, ein beliebig dichtes Abbildungsraster zu generieren.

Die notwendige Tiefe des virtuellen Passpunktfeldes kann erreicht werden, indem mehrere Einzelpunkte unterschiedlicher Entfernung innerhalb des Schärfentiefebereichs gescannt werden. Neben den Parametern der inneren Orientierung können so die Kameraverdrehung gegenüber der Aufnahmerichtung, die Verzeichnungsparameter des Aufnahmesystems, sowie Zielachs-, Kippachs- und Höhenindexfehler (vgl. Abb. 3) für die gewählten Stützstellen bestimmt werden. Die Kalibrierung ist weitgehend automatisierbar, aufgrund der hohen Stützstellenzahl, insbesondere bei den großen Linsenwegen für kleine Distanzänderungen im Nahbereich, aber sehr zeitintensiv. Resultat der Kalibrierung ist die Zuordnung der Horizontal- und Zenitrichtung für ein beliebiges Bildpixel bei gegebenen Teilkreisablesungen und Fokussierlinsenstellung

$$(H_z, V) = f(x, y, F, H_{zT}, V_T)$$

## 2.1 Kalibrierung

Grundvoraussetzung für den Einsatz bei präzisen ingenieurgeodätischen Anwendungen ist bei jedem Tachymeter eine korrekte Kalibrierung, insbesondere hinsichtlich der Achsfehler. Bei einem Videotachymeter erweitert sich die Kalibrierung auch auf Anteile der inneren und äußeren Orientierung der angebrachten Kamera. Da es über kein festes Fadenkreuz mehr verfügt, ist dieses im Bild geeignet festzulegen, wobei gewöhnlich die Chipmitte als Referenzpunkt gewählt wird. Durch die Bewegung der Fokussierlinse verändert sich jedoch der Bildhauptpunkt um mehrere Pixel in Reihen- und Spaltenrichtung, was bei einem festen Bezugspunkt unmittelbar einen deutlichen

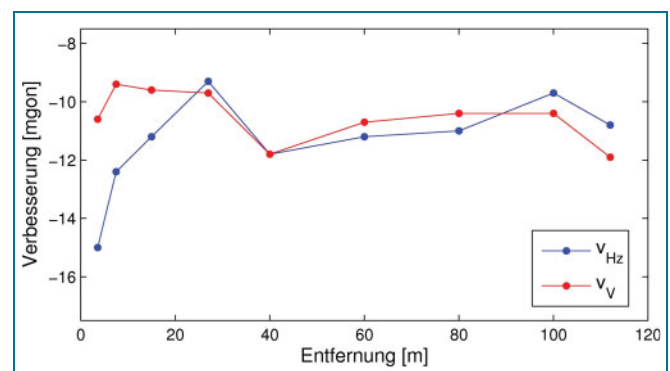
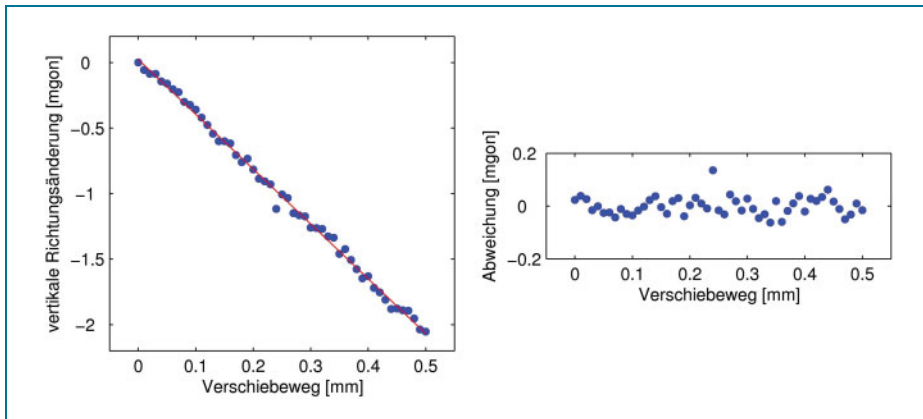


Abb. 4: ATR-Korrekturkurven





**Abb. 5: Richtungsänderung bei vertikaler Verschiebung in 0,01 mm-Schritten (links) und Abweichung von der Regression (rechts)**

so dass Richtungen und Winkel unmittelbar im Bild gemessen werden können, ohne das Fernrohr exakt ausrichten zu müssen. Insbesondere ist die zeitgleiche Bestimmung mehrerer Richtungen aus einem Bild möglich. Weiterhin Berücksichtigung finden müssen Temperatur- und Einlaufeffekte auf die neue Sensorik, sowie das Zusammenspiel der Kamera mit bereits vorhandenen Sensoren. Für die ATR-Einbindung in den Messablauf ist beispielsweise analog der herkömmlichen Kalibrierung eine Korrekturkurve entsprechend der variablen Abbildungsgeometrien in unterschiedlichen Fokusstellungen zu ermitteln (Abb. 4).

## 2.2 Messgenauigkeit und Fehlereinflüsse

Die erreichbare Winkelauflösung bei pixelgenauer Messung liegt bei  $> 0,6$  mgon. Dies liegt unterhalb der Tachymeter-Spezifikationen; ist jedoch durch entsprechende subpixelgenaue Bildverarbeitungsalgorithmen weiter steigerbar. Untersuchungen im Labor, bei denen eine Zielmarke mittels Mikrometerschraube seitlich und vertikal verschoben und bei unbewegtem Tachymeter kantenbasiert erfasst wurde, zeigen eine zuverlässige Detektion von relativen Verschiebungsbeträgen bis zu 1 ppm der Entfernung ( $15 \mu\text{m}$  auf 15 m), was etwa 0,1 Pixel und damit der Leistungsfähigkeit üblicher subpixelgenauer Algorithmen entspricht (Abb. 5). Die Absolutgenauigkeit unter idealen Bedingungen wird folglich durch das jeweils verwendete Basisinstrument und dessen Teilkreise festgelegt.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Abbildungs- und damit Messqualität haben Beleuchtungs- und atmosphärische Bedingungen. Insbesondere höherfrequente, turbulente Dichteschwankungen als Folge von Konvektionsströmungen oder zufälligen Bewegungen im Medium (Luftflimmern über heißen Oberflächen, Flirren von in größerer Entfernung betrachteten Objekten) führen zu Verschlechterungen der Darstellung im Kamerabild:

– *scheinbare Positionsänderungen eines Zielpunkts*

Es ändert sich der Lichtweg vom Zielpunkt zum Tachymeter und damit die Abbildungsposition auf dem Kamerachip. Da jede ausgewertete Szene einen diskreten Aufnahmezustand abbildet, ist dieser Einfluss im Einzelbild weder quantifizierbar noch korrigierbar.

Im Falle einer optischen Anzielung ist der Beobachter daher bestrebt, durch zeitliche Integration der Beobachtung

den bestmöglichen Schwerpunkt der Zielabbildung einzustellen. Bei der Verwendung eines Videotachymeters kann dies durch die Auswertung mehrerer unmittelbar aufeinander folgender Aufnahmen versucht werden.

– *scheinbare Verformungen von Zielstrukturen*

Teilbereiche der Abbildung werden relativ zueinander verschoben. Geometrische Strukturen, z.B. Zielkreuze, werden dadurch verformt. Die automatische Detektion geometrischer Primitive durch Bildanalyse wird erschwert.

Möglichst große Zielobjekte sind im Mittel weniger betroffen.

– *Unschärfeeffekte*

Eine punktförmige Lichtquelle wird während des Belichtungsintervalls nicht nur an einer, sondern an mehreren benachbarten Stellen auf dem Kamerachip abgebildet. Umgekehrt werden durch ein einzelnes Sensorelement mehrere Zielpunkte im Objektraum überlagernd erfasst. Es folgt ein Schärfeverlust in der Abbildung: vor allem Kanten und kleine Strukturen werden verwischt. Im Histogramm werden lokale Extremwerte abgeschwächt, so dass Schwellwert- und Texturoperatoren beeinflusst werden.

Luftflimmern kann an durchschnittlich warmen Tagen und auch ohne besonders gefährliche Oberflächen wie Asphalt bereits ab Zielentfernungen von deutlich weniger als 100 m wahrgenommen werden. Seine Auswirkungen sind durch entsprechende Aufnahme- und Auswerteverfahren zu minimieren.

Beleuchtungsunterschiede zu verschiedenen Zeitpunkten verändern das Aussehen der Objektszene zusätzlich. Durch Regelung der Belichtungszeit und Bildbearbeitungsschritte wird versucht, diese Einflüsse zu minimieren; in zu hellen oder dunklen Bereichen kann jedoch neben Grauwert- auch geometrische Information verloren gehen. Automatische Messung mit Videotachymetrie ist deshalb bevorzugt in überwachbarem Umfeld einsetzbar, z.B. in der industriellen Fertigung.

## 3 Anwendungsbereiche

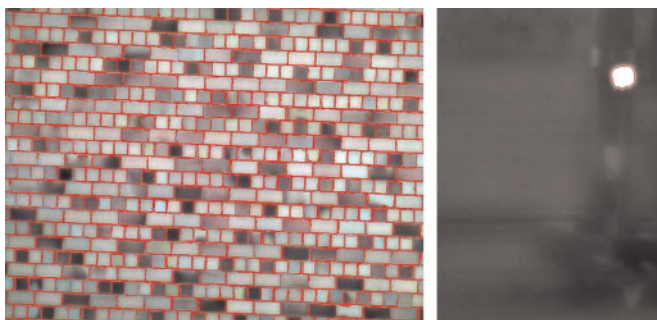
Die Verwendung von Bildinformation bei der Tachymetrie lässt sich auf einer ersten Stufe in zwei Hauptbereiche unterteilen: den passiven, visualisierenden und den akti-

ven, extrahierenden. Ersterer stellt die momentan marktübliche Ausbaustufe dar: ein Livebild der Objektszene wird mit Planungs- und/oder Messdaten überlagert. Die Anzeige kann unmittelbar am Display stattfinden und dient zur Orientierung, der Kontrolle von Lagegenauigkeit, Vollständigkeit und Punktzuordnung, sowie zur Dokumentation von Abmarkungen. In einer erweiterten Fortführung ist die Anzeige vollständiger CAD-Modelle, Absteck- oder auch Leitungspläne denkbar. Für den herkömmlichen Messeinsatz ist diese Unterstützung für den Ingenieur sinnvoll und ausreichend.

Der zweite Bereich dient nicht nur der Darstellung, sondern auch der Erfassung von Messinformation. Dabei müssen zuerst zwei verschiedene Anwendungsfälle unterschieden werden: die Detektion eines oder mehrerer bestimmter im Aussehen vorher bekannter und beschreibbarer Ziele (Einzelpunkt- oder Objektdetektion), und die Detektion einer beliebigen Anzahl möglicher, im Vorfeld nicht näher spezifizierbarer, aber möglicherweise objektbeschreibender Punkte (Points of Interest, PoI). Letzterer Ansatz dient hauptsächlich der halbautomatischen Messunterstützung und wird zurzeit z.B. von [REITERER et al. 03] verfolgt. Für wiederholungsfähige Messaufgaben, wie sie z.B. Deformationsmessungen darstellen, sind hingegen beschreibbare Einzelpunkte zu verwenden.

Als Beispiel für die PoI-Erfassung wird oft die Fassadenaufnahme verwendet; beispielsweise für die automatische Erkennung von Fenster- und Türöffnungen, für die Bestimmung von Mauerstrukturen (Abb. 6 links) oder Freskomalereien. Diese Methode ist der Nahbereichsphotogrammetrie sehr ähnlich und besitzt prinzipiell dasselbe Anwendungsspektrum, wobei als zusätzlicher Vorteil Passpunktinformationen direkt bestimmt werden können und weitere Verknüpfungen größerer Bildverbände durch die zu jedem Zeitpunkt bekannte äußere Orientierung unnötig werden.

Die Einzelpunktdetektion kann als Weiterführung der automatischen Prismenerkennung interpretiert werden. Eine Zielpunktsignalisierung ist so mit beliebigen, nicht notwendigerweise reflektierenden Markierungen möglich; beispielsweise HDS-Zielzeichen in unterschiedlicher Größe. Bei derart radiometrisch oder geometrisch eindeutigen Strukturen ist eine Prototypendeklaration (synthetisches Modell) möglich, so dass unterschiedliche Instanzen der Markierung selbständig gefunden und gemessen werden können. Während eines Laserscans könnte bei-



**Abb. 6:** Automatische Detektion einer gekachelten Mauer in 150 m Entfernung (links) und einer IR-Diode in 70 m Entfernung (rechts)



**Abb. 7:** Abgeleitetes kantenbasiertes Template eines Kirchturmkreuzes

spielsweise ein Videotachymeter autark den Sichtbereich nach Passpunkten absuchen, und diesen ggf. mittels Schrifterkennung sogar die korrekten Punktnummern zuweisen. Im industriellen Umfeld wird das Anbringen von Prismen unnötig; Platz sparende und unauffällige Klebmarken ähnlich herkömmlicher Reflexfolien oder im Idealfall natürliche Strukturen ermöglichen eine zuverlässige und reproduzierbare Punktdetektion.

In der Praxis zeigen erste, im Rahmen eines laufenden Forschungsprojekts durchgeführte Untersuchungen auch die Tauglichkeit von aktiven Low-cost-Zielzeichen. Eine kompakte Strahlungsquelle auf Basis von LED-Dioden z.B. im nicht-sichtbaren Bereich ermöglicht den Einsatz sowohl bei Tageslicht als auch in Dunkelheit. Die Ziele sind überaus preisgünstig, energiesparend, leicht anzubringen und unauffällig. Die Auswertung kann ähnlich wie bei der herkömmlichen ATR durch einfache Blob-Analyse durchgeführt werden (Abb. 6 rechts). Messungen auf eine Einzeldiode in 70 m Entfernung erbrachten dabei eine Standardabweichung von 0,45 mgon.

Neben der automatischen Punktzuordnung kann Videotachymetrie auch für die Bestimmung von Strukturen, d.h. ausgedehnten Objekten, genutzt werden. Dabei sind synthetische Modelle nutzbar, oder, wenn natürliche Objekte nicht vollständig geometrisch beschreibbar sind, von diesen abgeleitete radiometrische oder kantenbasierte Template-Modelle (Abb. 7, vgl. [WASMEIER 03]).

Diese sind in einer Lernphase aus repräsentativen Abbildungen der Zielobjekte zu generieren. Im Rahmen des Forschungsprojekts alpEWAS wird dieses Verfahren verwendet, um Hangrutschungen durch Messung zu Oberflächenfelsen zu quantifizieren, ohne den gefährdeten Hang betreten zu müssen. Bewegungen senkrecht zur Aufnahme-richtung sind dabei durch die Lageänderung im Bild messbar, Bewegungen in Aufnahme-richtung durch reflektorlose Distanzmessung zu reproduzierbar erkennbaren Bezugspunkten. Im Rahmen einer Dissertation soll zudem untersucht werden, welche Deformationstypen und -beiträge mit der Kombination von Bild- und Streckenmessung automatisiert signifikant bestimmbar sind. Ein anderer Ansatz verfolgt die unmittelbare Bestimmung von zeitnahen inneren Deformationen wie sie z.B. bei der

Durchbiegung von Baustoffen auftreten. Durch Kantendetektion ist der Deformationsbetrag in Echtzeit messbar. Aufgabenstellungen dieser Art sind bisher typische Anwendungen der industriellen Bildmesstechnik und auf den ersten Blick nicht zwangsweise für Videotachymetrie prädestiniert. Der Vorteil einer mit einem Tachymeter verbundenen Messkamera liegt jedoch in der Flexibilität der Aufstellung bei jederzeit bekannter äußerer Orientierung und damit der zwischenzeitlichen Verswenkbarkeit zur Erfassung unterschiedlicher Blickwinkel.

## 4 Ausblick

Nach der instrumentellen Kombination von GPS und Tachymetrie und der zunehmenden Einbindung von Scannerdaten durch Hybridgeräte, ist der kommende Schritt die verstärkte Integration von Bildinformation in den Messablauf. Standardinstrumente werden dabei auf der aktiven Ebene ausreichenderweise auf einfache Erkennungsalgorithmen für künstliche Zielzeichen beschränkt bleiben. Für Aufgabenstellungen insbesondere im langjährigen Dauereinsatz (Monitoring, Fertigungskontrolle, Fernsteuerung) und bei kontrollierbaren, industriellen Umgebungsbedingungen, bieten sich hingegen umfangreiche Verwendungsmöglichkeiten zur Nutzung der Videoinformation. Grundvoraussetzung ist dazu jedoch eine weitestgehende Zugänglichkeit der Sensorschnittstelle, um individuell angepasste Lösungen erstellen zu können, da auf Onboard-Prozessierung hinsichtlich der notwendigen Komplexität verzichtet werden muss. Die Integration der Sensorik stellt für die Hersteller keine große Hürde dar bzw. ist bereits abgeschlossen; die Entwicklung der Anwendungssoftware hingegen ist kostenintensiv und rechnet sich nur bei ausreichender Laufzeit. Videotachymetrie in dieser Ausbaustufe ist daher stets als Expertensystem zu klassifizieren.

Mit der Verfügbarkeit der Prototypenserie der IATS2 von Leica wird die industrielle und wissenschaftliche Arbeit in diesem Bereich wieder neu belebt. Mehrere Forschungsvorhaben, insbesondere an der TU Wien und der TU München, befassen sich aktuell mit den Möglichkeiten der Videotachymetrie. Weiterführende Resultate werden an entsprechender Stelle veröffentlicht.

Siehe auch: [www.alpewas.de](http://www.alpewas.de)

## Literatur

- [GERSTBACH 99] CCD und Astro-Geodäsie – Unterwegs zur automatischen Lotrichtungsmessung. Geowissenschaftliche Mitteilungen des Instituts für Geodäsie und Geophysik an der Technischen Universität Wien Nr. 50, Festschrift zum 70. Geburtstag von Univ.Prof. Dr. Kurt Bretterbauer, S. 45ff., 1999
- [GONG, undatiert] A Laser Scanning Videotheodolite for 3D Visualisations and Metrology [www.alphageofisica.com.br/mdl/06video.pdf](http://www.alphageofisica.com.br/mdl/06video.pdf), undatiert
- [GOTTWALD 87] Kern E2-SE – Ein neues Instrument nicht nur für die Industrievermessung?. AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Heft 4/1987, S. 147ff., Wichmann Verlag Karlsruhe, 1987
- [HAAG 97] Vermessen mit der automatischen Feinzielung des TCA1800 von Leica. VPK Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik, Heft 7/1997, S. 466ff
- [HUANG, HARLEY 89] Calibration of Close-Range Photogrammetric Stations Using a Free Network Bundle Adjustment. Grün/Kahmen: Proceedings of the Conference on Optical 3-D Measurement Techniques in Wien, S. 49ff., 18.–20. September 1989
- [JURETZKO 04] Reflektorlose Video-Tachymetrie – ein integrales Verfahren zur Erfassung geometrischer und visueller Informationen. Fakultät für Bauingenieurwesen der Ruhr-Universität Bochum, Dissertation, 2004
- [KAHMEN, DESEIXAS 99] Object recognition with Video-Theodolites and Without Targeting the Object. Proceedings of the IWAA, 6<sup>th</sup> International Workshop on Alignment Accelerator, Grenoble, 18.–22. Oktober 1999
- [KAHMEN, REITERER 04] High-Precision Object Monitoring with Image Assisted Theodolites – State of the Art. Proceedings of the IWAA, 8<sup>th</sup> International Workshop on Alignment Accelerator, Genf, 04.–07. Oktober 2004
- [KAHMEN, REITERER 06] Videotheodolite Measurement Systems – State of the Art. ISPRS Commission V Symposium, IAPRS Vol. XXXVI, Part 5, S. 142ff., Dresden, 25.–27. September 2006
- [KATOWSKI 89] Deformationsmessung an Bauwerken mit dem automatischen Theodolitmess-System ATMS. Optical 3-D Measurement Techniques in Wien, S. 393ff., Wichmann Verlag Karlsruhe, 18.–20. September 1989
- [LEICA 07] Leica TPS1200+ Serie Technische Daten. [http://www.leica-geosystems.com/de/de/lgs/\\_8346.htm?cid=3305](http://www.leica-geosystems.com/de/de/lgs/_8346.htm?cid=3305), Heerbrugg, 2007
- [REITERER et al. 03] 3D-Vermessung mit Videotheodoliten und automatisierte Zielpunkterfassung mit Hilfe von Interest Operatoren. AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Heft 4/2003, S. 150ff., Wichmann Verlag Heidelberg, 2003
- [SCHERER 07] Nahe Verwandete des Laserscanners: Intelligente Totalstationen und 3D-Kamera. Schriftenreihe des Deutschen Vereins für Vermessungswesen e.V. DVW, Band 53, Terrestrisches Laserscanning (TLS 2007), Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, S.27ff, 2007
- [SOKKIA 08] Sokkia Service- und Distributionscenter Deutschland: Persönliche Nachricht, Juni 2008
- [TOPCON 05] Topcon Deutschland GmbH: Persönliche Nachricht, Oktober 2005
- [TOPCON 08] Topcon ImagingStation – Long Range Scanning, Imaging and Robotic Total Station, Broschüre, März 2008
- [TRIMBLE 07] Trimble Spatial Station VX Datenblatt, 2007
- [UFFENKAMP 95] Konzeption, experimentelle Realisierung und Kalibrierung einer opto-elektronischen Schwenk-Neige-Kamera langer Brennweite. Deutsche Geodätische Kommission DGK bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C, Heft 442, Dissertation, München, 1995
- [WALSER 05] Development and Calibration of an Image Assisted Total Station. Mitteilungen des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 87, Dissertation, 2005
- [WASMEIER 03] The Potential of Object Recognition Using a Servo-Tacheometer TCA2003. Grün/Kahmen [Hrsg.]: Optical 3-D Measurement Techniques VI in Zürich, Band 2, S. 48ff., 22.–25. September 2003
- [WUNDERLICH 05] Automatisches Zielen mit Tachymetern und Theodoliten. Geowissenschaftliche Mitteilungen des Instituts für Geodäsie und Geophysik an der Technischen Universität Wien Nr. 71, Festschrift zum 65. Geburtstag von Univ.Prof. Dr.-Ing. Heribert Kahmen, S. 29ff., 2005

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. PETER WASMEIER, Lehrstuhl für Geodäsie an der Technischen Universität München, Arcisstraße 21, 80290 München, E-Mail: p.wasmeier@bv.tum.de

#### **Abstract**

**In their latest product developments, the leading manufacturers of engineering surveying instruments increasingly add imaging technology.**

**These functions are solely user-supporting at the moment; in future, however, applications may be expected which base on active measurements using tacheometric imaging.**

**At the Chair of Geodesy at the Technische Universität München a Leica Geosystems prototype was acquired within the scope of the alpEWAS research project. The possibilities, limitations and fields of application of precise surveying tasks with video tacheometers, especially regarding displacement measurements, become investigated.**