



Terrestrisches Monitoring natürlicher Zielobjekte

Thomas A. Wunderlich, München

Kurzfassung

Reflektorlose Distanzmessung, Radartechnik und digitale Bilderfassung bereiten neue Möglichkeiten der Deformationsmessung natürlicher Zielobjekte. Im Fokus stehen aktuelle Entwicklungen für die Bestimmung von Ortsbrustdeformationen in der NÖT mit terrestrischem Laserscanning, Rutschhangüberwachung mit GB-SAR oder bildgebenden Tachymetern sowie Rissortung und -dokumentation mittels Digitalkameras.

Schlüsselwörter: Natürliche Zielobjekte, Ingenieurgeodäsie, Überwachungsmessung

Abstract

Prismless EDM, radar ranging and digital image capture create new possibilities for deformation measurement of natural objects. The investigation focusses on recent developments concerning determination of tunnel face deformations by terrestrial laserscanning for the NATM, on landslide monitoring by GB-SAR or by image assisted total stations as well as on crack locating and documentation by digital cameras.

Keywords: natural targets, engineering surveying, monitoring

1. Natürliche Zielobjekte

Die geodätische Aufnahme und Überwachung natürlicher Objekte stellt seit jeher eine Domäne der Photogrammetrie, in jüngerer Vergangenheit auch der Fernerkundung dar. Künstliche Ziele auf Einzelpunkten werden dabei nur zu Zwecken der Orientierung oder zur Steigerung der Genauigkeit installiert (farblich besonders gekennzeichnete Passpunkte, große Corner-Reflektoren). Im Gegensatz dazu haben sich die entsprechenden Verfahren der Ingenieurgeodäsie lange Zeit ausschließlich auf die hochpräzise Einmessung signalisierter Ziele gestützt und solchermaßen vorwiegend punktbezogene Auswertestrategien genutzt. Linien- und flächenmäßige Bearbeitungen konnten erst mit Aufkommen der reflektorlosen Distanzmessung und weiter durch das terrestrische Laserscanning (TLS) einsetzen. Mit Hinzutreten der Bildinformation interner Zielkameras modernster Servotachymeter haben sich die Möglichkeiten – insbesondere durch Nutzung photogrammetrischer Algorithmen der Bildverarbeitung – deutlich erweitert und zu einem konstruktiven Zusammenrücken der beiden Disziplinen geführt. Die Brauchbarmachung der flugzeug- oder satellitengetragenen Radartechnik für die terrestrische Anwendung in Form des ground based synthetic aperture radar (GB-SAR) empfiehlt schlussendlich eine nutzbringende Allianz mit der Fernerkundung.

Die Erweiterung des Methodenspektrums und die technischen Fortschritte bei bestehenden

Verfahren werden natürlich von der Ingenieurgeodäsie unmittelbar aufgegriffen, um wichtige Messaufgaben neu oder verbessert zu lösen, wofür auch deutliche Nachfrage aus der Praxis besteht. Verstärktes Interesse richtet sich dabei auf die Erzielung höherer Informationsdichte durch Deformationserfassung in der Fläche und auf das möglichst weitgehende Verzicht auf Signalisierung. Dies erfordert jedoch die Entwicklung neuartiger Auswertungs- und Analysealgorithmen, was Gegenstand der aktuellen Forschung an vielen Universitäten ist. Der Lehrstuhl für Geodäsie der Technischen Universität München widmet sich in diesem Feld gezielt der Deformationserfassung natürlicher Zielobjekte; solche werden als Untergruppe der nicht kooperativen Ziele verstanden, welche darüber hinaus nicht signalisierte Bauwerke, Maschinen, Anlagen oder Teile derer umfassen. Zur Bearbeitung letzterer Gruppe sind im letzten Jahrzehnt bereits sehr effiziente, praxisreife Ansätze geschaffen worden. Kennzeichnend ist dort, dass analytisch auf eine Sollgeometrie zurückgegriffen werden kann, wohingegen bei mehrfach erfassten natürlichen Zielobjekten eher triangulierte Ersatzflächen, markante Umrisse oder Strukturen die Grundlage für neue Monitoringprozesse bilden.

2. Ausgewählte Monitoringaufgaben

Angeregt durch konkrete Bedarfsmeldungen von interdisziplinären Partnern wie Bauingenieuren und Ingenieurgeologen, hat der Lehrstuhl für Geodäsie konsequent die Lösung ausgewähl-

ter Monitoringaufgaben bezüglich natürlicher Zielobjekte in Angriff genommen. In allen Fällen sind dazu Forschungsprojekte formuliert worden, von welchen einige die Zuerkennung einer öffentlichen oder industriellen Förderung erringen konnten.

Der erste Bereich betrifft – teilweise zeitkritische – Deformationsbestimmungen im Tunnelbau nach der NÖT, der zweite das längerfristige Monitoring von Rutschhängen und der dritte die wiederholte Auffindung und Vermessung von Rissbildungen an Bauwerken.

3. Monitoring von Deformationen im Tunnelbau

Die Anwendung der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT) bedingt sofort nach dem jeweiligen Hohlraumausbruch eine Primärsicherung durch Spritzbeton bevor in einer späteren Phase des Bauablaufs die eigentliche Innenschale errichtet wird. Die dabei anfallenden Profil- und Rauigkeitskontrollen sowie Schichtdicken- und Massenbestimmungen werden schon seit geraumer Zeit in der Regel mittels terrestrischem Laserscanning (TLS) flächendeckend ausgeführt. Es ist naheliegend, dass aus wirtschaftlichen Erwägungen der dazu notwendige Scanner auch weitergehend genutzt werden soll, in erster Linie zur Ablösung der bislang nur profilweisen, über programmierte Beobachtung mit Servotachymetern durchgeführten, optoelektronischen Konvergenzmessungen durch dicht gerasterte Abtastung mittels TLS. Dies ist, auf Tunnelbau spezialisierten, Vermessungsunternehmen bereits recht erfolgreich gelungen. Problematisch erweisen sich bei der praktischen Umsetzung die Einflüsse der Oberflächenrauigkeit und von Störelementen (Ankerköpfe, Leitungen, Lutte), besonders wenn solche nur in einem von zwei aufeinanderfolgenden Scans enthalten sind.

Hier ist es mit Unterstützung der Firma *Geodata, Leoben* (Datensätze, Beratung) in München gelungen, ein Auswerteverfahren zu entwickeln, das nahezu vollautomatisch flächendeckend Deformationen der Tunnellaibung aus multitemporalen Scans zu bestimmen erlaubt [1]. Die von Herrn *Ohlmann* im Rahmen seiner Diplomarbeit [2] entwickelte Software *TunnelDefo* beschränkt sich dabei auf die Ableitung der radialen Deformationskomponente im Tunnelquerprofil. Dazu werden die Punktwolken zweier Aufnahmezeitpunkte zunächst mittels feingescannten, tachymetrisch vorbestimmten, Reflektorpunkten vom lokalen Scannersystem in das Projektkoordinatensystem transformiert, von wo sie weiter durch

längentreue Abwicklung des Korbbogenprofils in ein ebenes Tunnelband abgebildet werden. Dort erfolgt eine zweistufige Filterung. In der ersten Stufe verringert ein Binomialfilter das globale Rauschniveau (Messrauschen, Oberflächenrauschen) und quantifiziert das Resultat. Diese Maßzahl dient dann in der zweiten Stufe dazu, Intervallgrenzen eines Konfidenzbereichs festzulegen, gegen welche ein regional adaptiver Filterprozess Deformationsniveaus innerhalb von Kacheln eines beliebig festlegbaren Rasters testet, um so Pseudodeformationen (durch Störobjekte oder größere Unebenheiten bei flachem Inzidenzwinkel verursacht) aufzuspüren und zu eliminieren. Die bereinigten Punktwolken zeigen danach anhand von Gitterpunkten, die durch regelmäßige Delauney-Interpolation nach der von *Schäfer* [3] eingeführten Strategie ermittelt werden, die signifikanten Deformationen.

Die Visualisierung erfolgt farbkodiert; ein Beispiel in Abb.1 vermittelt einen Eindruck, welchen Informationsgewinn der flächendeckende TLS-Ansatz verschaffen kann. Natürlich muss für jedes Bauvorhaben spezifisch abgewogen werden, ob der Konvergenzmessung auf Reflektoren (punktweise in Profilen, hochgenau, räumliche Deformation) oder direkt auf die ausgebrochene respektive torkretierte Tunnellaibung (flächendeckend, genau, radiale Deformationskomponente) der Vorzug gegeben wird. Tatsächlich sollten die beiden Verfahren am besten Hand in Hand arbeiten, alleine schon wegen der Georeferenzierung. Verzichtet man, etwa zur beschleunigten Konvergenzmessung kurzfristig nach dem Ausbruch, auf die Einpassung in das Projektkoordinatensystem, so kann zur Registrierung auf im Scan identifizierbare Singularitäten (z.B. Ankerköpfe) zurückgegriffen oder nach dem Folgescan über die an solchen Stellen auftauchenden Pseudodeformationen versucht werden.

Wollte man aus Laserscans alle drei Komponenten der Konvergenz (vertikal, quer, längs) gewinnen, könnte man am besten zur Erzeugung von Shape-Modellen auf NURBS-Basis greifen, deren gegenseitige (relative) Abweichungen sich dann über einen Compare-Prozess bestimmen ließen. Auf Basis der Software *Geomagic* ist so ein Ansatz in München bereits erfolgreich getestet worden [2]. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeit liegt jedoch derzeit auf der Entwicklung eines echtzeitnahen Verfahrens zum Ortsbrustscanning für die NÖT.

In Zusammenarbeit mit dem Zentrum Geotechnik (Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt) der Technischen Universität München wird eine Methode erar-

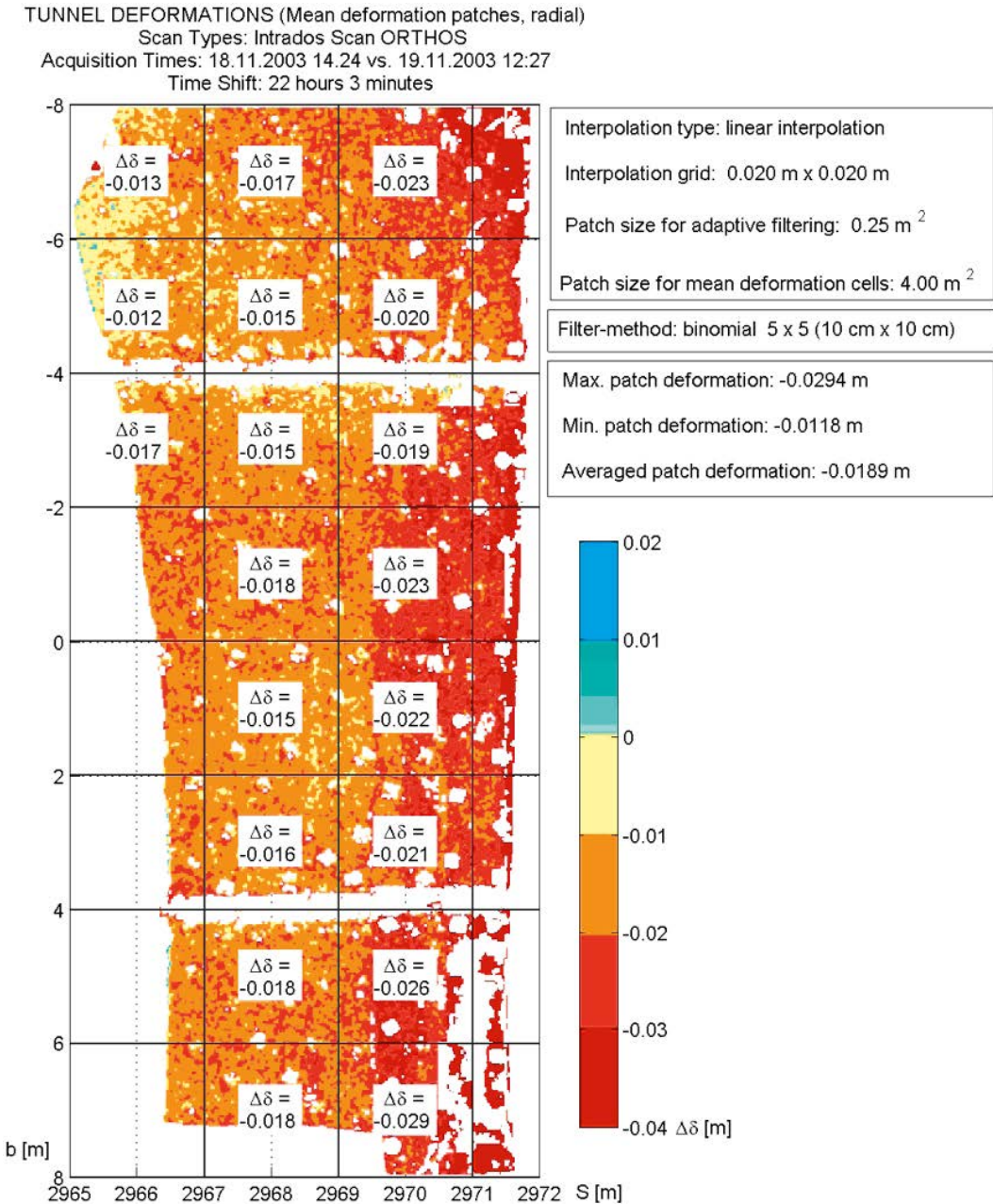


Abb.1: Auswertung einer TLS-Konvergenzmessung für die NÖT (Quelle: Dipl.-Ing. Johannes Ohlmann-Bartusel, Lehrstuhl für Geodäsie, TUM)

beitet, Ortsbrustdeformationen flächendeckend und unter Einhaltung vorgegebener Stillstandzeiten zu bestimmen (Abb.2). Insbesondere bei Tunnelvortrieben mit geringer Überdeckung, wie sie für innerstädtische Verkehrswege die Regel sind, ist es für den Bauingenieur äußerst wichtig, die Standfestigkeit der Ortsbrust so sicher wie

möglich zu beurteilen, um einerseits einem Versagen vorzubeugen, andererseits die Beträge von bauwerksrelevanten Oberflächensetzungen realistisch prognostizieren zu können. In Ermangelung eines Maßes für die Standsicherheit sind die Deformationsermittlungen aus Laserscans von höchstem praktischem Wert [4].



Abb.2: Deformationsbestimmung einer NÖT-Ortsbrust mit TLS (Quelle: Dipl.-Ing. Johannes Ohlmann-Bartusel, Lehrstuhl für Geodäsie, TUM)

Tatsächlich ist es mittlerweile gelungen, die Vorgangsweisen aus dem Monitoringsystem *TunnelDefo* so aufzubereiten, dass damit Ortsbrustdeformationen ausgewiesen werden können. Die Aufnahme erfolgt mit einem schnellen, hochauflösenden Phasenscanner aus etwa 10 Metern Entfernung mit einer Rasterweite von 3,1 Millimetern; zur Registrierung werden seitlich Passkugeln und Passmarken angebracht. Nach den beiden Filtervorgängen (gerade die Pseudodeformationen durch Ortsbetonsicherung, temporäre Anker und Materialumlagerungen müssen beseitigt werden) können dann zur örtlichen Tunnelachse parallele Verformungen über Gitterpunkte berechnet und visualisiert werden (Abb.3). Praxistests, die logistisch in einen laufenden Tunnelvortrieb eingepasst werden konnten, haben überzeugend bewiesen, dass die vorgegebene Stillstandzeit von maximal 15 Minuten niemals überschritten worden ist. Unter Verwendung eines Leica HDS6000 Phasenscanners war es möglich, in 7 Minuten die Punktwolke mit der gewünschten Punktdichte aufzunehmen und mit den verbleibenden 2 * 4 Minuten Geräteeinrichtung und -abbau sowie alle Bedienungsschritte zu bewerkstelligen [5].

4. Monitoring von Rutschhängen

Die Entfestigung alpiner Räume durch das klimawandelbedingte Ansteigen der Permafrostgrenze und durch an Zahl und Heftigkeit zunehmende Unwetterereignisse schreitet in extrem beunruhigender Art und Weise fort. Rutschungen, Felsstürze und Muren sind laufend an der Tagesordnung. Inzwischen treten aber auch im sanften Hügelland unter Einfluss von Starkregen oder Dauerniederschlägen massenweise Erdbeben auf, wie in diesem Sommer die steirischen Bezirke Feldbach und Fürstenfeld leidvoll erfahren mussten.

Für den Ingenieurgeodäten bedeutet diese unheilvolle Entwicklung, dass er immer öfter und an immer mehr Orte zu Überwachungsmessungen gerufen wird. Eine spürbare Erleichterung und Beschleunigung seiner Monitoringmissionen würde sich einstellen, wenn die Vermarkung und Signalisierung von Zielpunkten entfallen könnten und stattdessen natürliche Objekte direkt beobachtbar wären. Der erste Gedanke führt naturgemäß wieder zu TLS, allerdings mit Instrumenten, welche über Impulslaufzeitmessung sehr große Reichweiten erzielen lassen. Ein einziger Scanner, der Riegl LPM-321, erfüllt die hochgesteckten Erwartungen von Experten und Verantwortli-

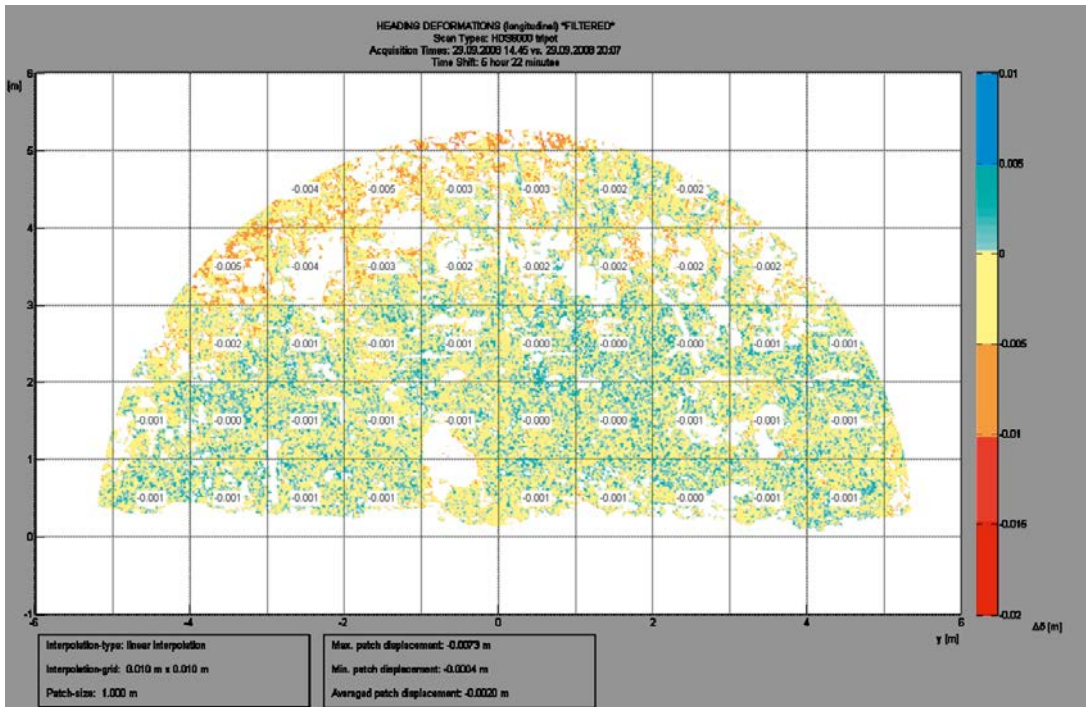


Abb.3: Auswertung der Ortsbrustdeformationen mit TunnelDefo (Quelle: Dipl.-Ing. Johannes Ohlmann-Bartusel, Lehrstuhl für Geodäsie, TUM)

chen des Naturgefahrenmanagements mit einer Werksangabe von bis zu 10 Kilometern auf gut reflektierende Oberflächen. Die dazu notwendige Sendeleistung muss aber zur unbedenklichen Anwendung in freier Natur mit einer erheblichen Strahlaufweitung kompensiert werden [6]. Das führt am Objekt zu großflächigen Footprints, die die Auswertung bei stark strukturierten, vielleicht auch noch bewachsenen, Zielbereichen schwierig gestalten. Erst die komplexe Analyse mit der Full Wave Form Technik wird hier zukünftig Verbesserungen erbringen. Vom Gesichtspunkt der Genauigkeit her hat sich das Interesse deshalb zwischenzeitlich der differentiellen interferometrischen Radartechnik und bildgebenden Servotachymetern zugewandt.

4.1 Ground-based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR)

In den letzten sechs Jahren ist es mehreren Forschungsinstituten in Italien (Systeme LiSA, IBIS), Frankreich (Prototyp UWBR) und der Schweiz (System GAMMA) geglückt, das von der Fernerkundung entwickelte Radarverfahren SAR erfolgreich für die terrestrische Anwendung zu modifizieren [7]. Die sonst durch zwei Satelliten (Tandembetrieb) oder durch verschiedene Positionen eines Satelliten nach mehreren Erdumrun-

dungen erzeugte Aufnahmebasis wird durch motorgesteuerte Bewegung des Radartransceivers auf einer 2 bis 5 Meter langen, mechanischen Linearbasis ersetzt. Durch eine extrem große Bandbreite der Mikrowellenstrahlung erreicht man entfernungsunabhängig eine Auflösung von weniger als einem Meter in Strahlrichtung und, abhängig von der Basislänge, quer dazu von mehreren Metern auf Distanzen von 2 bis 4 Kilometern. Innerhalb dieser „Pixel“ kann dann durch Bildung der Phasendifferenz der rückgestreuten Strahlung zwischen zwei zeitversetzten Aufnahmen eine LOS-Distanzänderung (line of sight) bis in den Submillimeterbereich detektiert werden. Über die Aufnahmegeometrie (Strahlevation, Hangneigung) lässt sich daraus lotbezogene Deformationsinformation ableiten und damit ein ganzer Hang flächendeckend (außer topographisch abgeschattete Bereiche) überwachen. [8].

Beachtet werden muss, dass das Phasenverfahren natürlich eine Mehrdeutigkeit enthält. Je nach verwendeter Mittenfrequenz beträgt diese ein bis mehrere Zentimeter. Die Aufnahmezeit muss daher der mittleren Bewegungsgeschwindigkeit angepasst werden. Wie bei der satellitengestützten Technik behindern Kohärenzab-

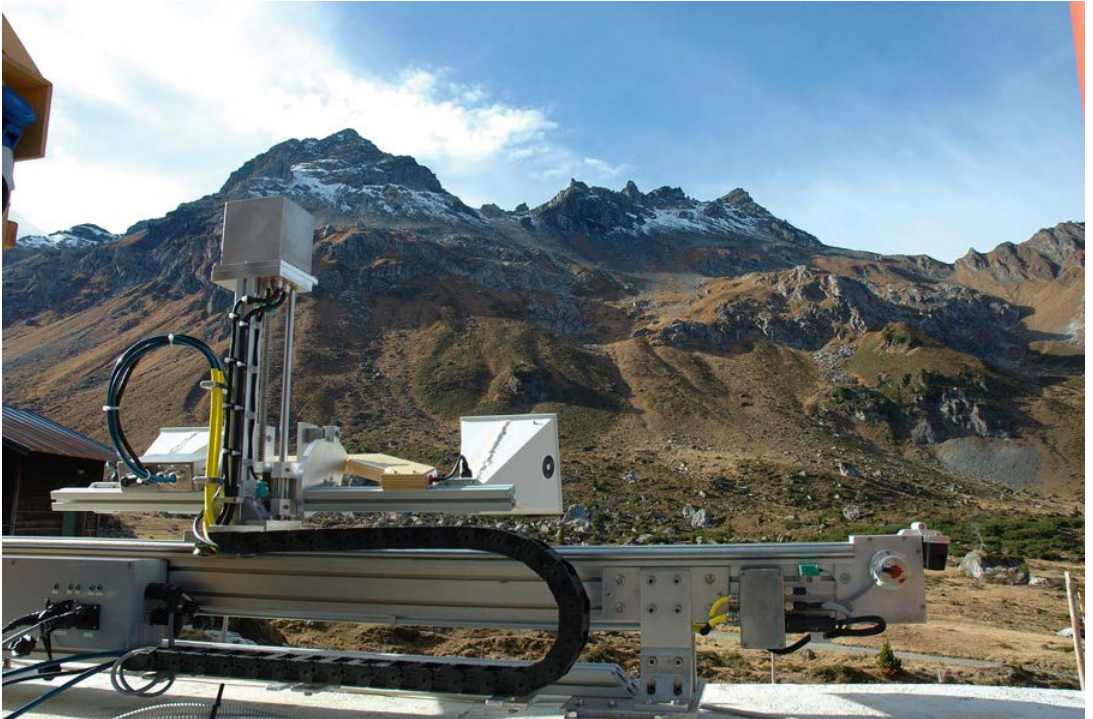


Abb.4: GB-SAR im EU-Forschungseinsatz von ENVEO (Quelle: Homepage EU Project N. 018409 – GALAHAD, Arbeitspaket ENVEO, Austria)

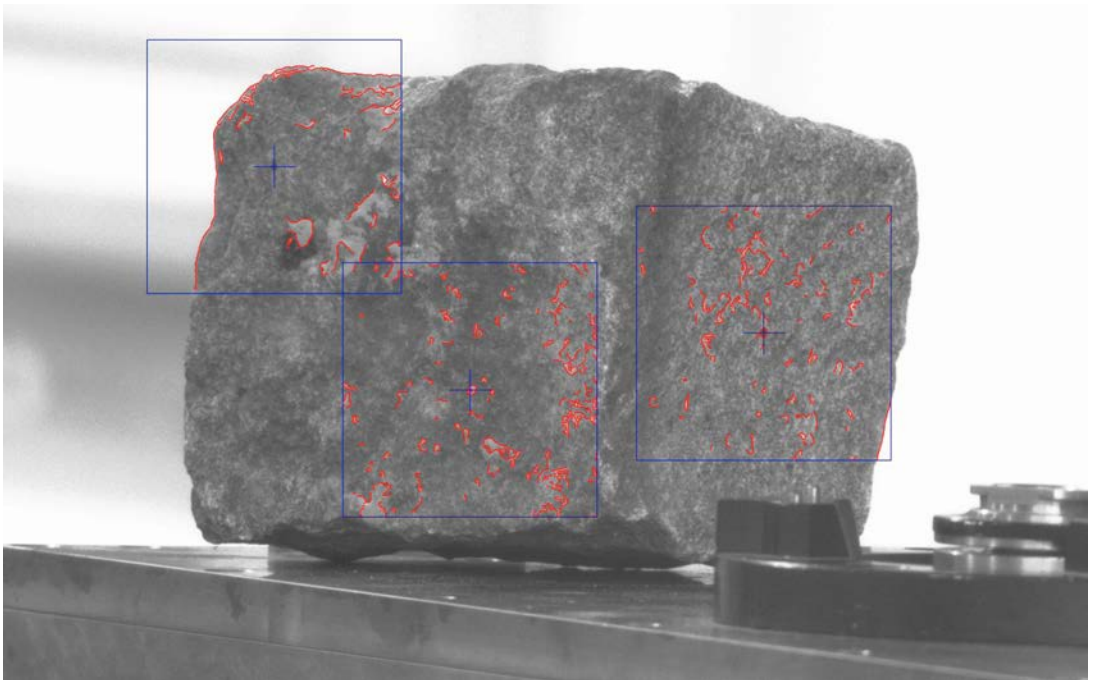


Abb.5: Videotachymetrische Strukturaufnahme eines Pflastersteins (Quelle: Dr.-Ing. Peter Wasmeier, Lehrstuhl für Geodäsie, TUM)

schwächungen durch Vegetation oder deren Veränderung die Auswertung [9]. Bevorzugt geeignet sind daher unbewachsene Hänge, womit sich der derzeit überwiegende Einsatz im hochalpinen Gelände oder an Vulkanflanken erklärt (Abb.4). Vorteilhaft ist wegen der großen Wellenlänge die Operabilität auch bei schlechten Sichtbedingungen; zur Sicherung höchster Genauigkeit darf nicht auf die atmosphärischen Korrekturen, insbesondere jene wegen Luftfeuchtigkeit, vergessen werden.

Der Lehrstuhl für Geodäsie konnte sich bisher mit der vielversprechenden Methode im Zuge der Teilnahme am EU-Projekt „ClimChAlp“ [9] erst theoretisch auseinandersetzen. Derzeit ist aber in der BMBF-Fördermaßnahme „Nachhaltiges Landmanagement“ ein gemeinsamer Antrag mit dem Lehrstuhl für Ingenieurgeologie in Begutachtung (im Verbundprojekt: „Differenziertes Landnutzungsmanagement in (vor-)alpinen Verflechtungsräumen zur Minderung von Klimafolgen, hydrologischer und geogener Gefahren“), der GB-SAR enthält.

4.2 Videotachymetrie

Hohes Potential für Überwachungsmessungen auf natürliche Ziele eröffnet auch die Videotachymetrie, also die Nutzung des Kamerabildes bildgebender Tachymeter. Solche sind in Nachfolge der Videotheodolite von Kern (E2-SE) und Wild (TM3000V) inzwischen in unterschiedlichen Ausprägungen als Tachymeter auf dem Markt. Während die einen eine Fixfokus-Kamera zur automatischen Zielung auf Reflektoren nutzen (Leica), stellen die anderen mit fokussierbarer Kamera Bildinformation hauptsächlich zu Zwecken der Dokumentation, des Overlays von Bild- und Mess-/Plandaten oder der komfortablen Auswahl von Bearbeitungsbereichen (etwa zum grobmaschigen Scannen) zur Verfügung (Sokkia, Topcon, Trimble) [10]. Um jedoch die Bildinformation der zweiten Gruppe zu Messzwecken nutzen zu können, müssten zwei fundamentale Bedingungen erfüllt sein: eine umfassende Kalibrierung der Kamera bezüglich des Trägerinstruments unter Einbezug der Achsfehler und über den gesamten Fokussierbereich einerseits und andererseits eine offene Schnittstelle zur Kommunikation mit Tachymeter und Kamera; beides ist derzeit noch zu vermissen.

Aufhorchen ließ aber *Walser* [11] mit dem Prototyp einer ‚Image Assisted Total Station‘ (IATS) auf Basis eines Leica TCRA1100, der erstmals eine, das Okular ersetzende, CMOS-Kamera entsprechend kalibrierte und mit Algorithmen zur

Merkmalsextraktion koppelte. Damit gelang versuchsweise die Aufnahme und Auswertung von Fassadenelementen. Der Prototyp wurde dankenswerterweise Nachwuchswissenschaftlern der Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie der TU Wien und des Lehrstuhls für Geodäsie der TU München zeitweise für eigene Versuche überlassen. Angeregt durch das erkannte hohe Potential eines solchen Videotachymeters, haben beide Institute die Firma Leica bestürmt, ihre Pionierarbeiten doch durch Fertigung einer verbesserten Version zu unterstützen, was schließlich tatsächlich in Form einer Kleinserie auf Grundlage des TCRA1201+R1000 geschehen ist. Seither laufen in Wien und München mehrere Forschungsvorhaben zur Videotachymetrie mit solchen Geräten.

Für die nähere Betrachtung im Rahmen dieser Abhandlung relevant ist der Einsatz der IATS2 im Forschungsprojekt „alpEWAS – Entwicklung und Erprobung eines integrativen 3D-Frühwarnsystems für alpine instabile Hänge“ [12], welches im Rahmen der Fördermaßnahme „Geotechnologien II“ des BMBF seit 2007 gefördert wird. Der Anteil der Videotachymetrie an der Gesamtaufgabe umfasst die Bestimmung der Verlagerung und Rotation von über den Rutschhang verstreuten Felsblöcken, um die Installation von Reflektoren zu vermeiden. In seiner Dissertation [13] hat *Wasmeier* die IATS2 im Geodätischen Prüflabor dazu hochwertig kalibriert und effiziente Algorithmen zur wiederkehrenden Erkennung und Vermessung natürlicher Strukturen mit Hilfe von Bildverarbeitungsoperationen entwickelt. Ein Beispiel im Labor zeigt Abb.5. Kalibrierung und Subpixelinterpolation liefern extrem hohe Genauigkeit.

Inzwischen ist das Instrument im Untersuchungsgebiet Aggenalm auf dem bayerischen Sudelfeld installiert (Abb.6) und meistert seine ersten praktischen Tests im Gelände. Den größten Störeinfluss bewirken naturgemäß die Refraktion und ihre kurzperiodische Änderung, die Szintillation. Diese führen zu Unschärfereffekten sowie scheinbaren Verformungen und Positionsänderungen, welche sich aber über geeignete Mittelungsprozesse begrenzen lassen. Für den hier im zentralen Blickpunkt des Vorhabens stehenden Monitoringzweck [14] werden zahlreiche, kleinräumige natürliche Strukturen periodisch angemessen, um in der Summe ein möglichst detailliertes Modell der Hangbewegung aufbauen zu können. Laterale Bewegungen werden überwiegend durch die Kamerabilder, radiale durch reflektorlose Distanzmessung bestimmt. Dabei hat *Wasmeier* auch besondere Ansätze verfolgt, welche auf ein Minimum notwendiger Distanz-



Abb.6: Bildgebender Tachymeter IATS2 beim Rutschhangmonitoring (Quelle: Dr.-Ing. Peter Wasmeier, Lehrstuhl für Geodäsie, TUM)

messungen abzielen. Bei Schneebedeckung der Zielobjekte wird Zuwachs und Abnahme aufgenommen, um damit eine wichtige Triggergröße zu erfassen.

Eine offenkundige Einsatzbeschränkung der Videotachymetrie besteht im Sichtbedarf; bei Dunkelheit oder Schlechtwetter sind keine Messungen möglich. Demgegenüber offenbart sich jedoch auch noch ein hervorragendes Vermögen, das in anderen Monitoringprojekten genutzt werden soll: unter Berücksichtigung der Synchronisationssignale und der Austaktlücken sind die 5 Megapixel Kamerabilder mit 6 Frames pro Sekunde verfügbar. Das bedeutet, dass alle Veränderungen des Bildinhaltes (bei unbewegter Ausrichtung des Instruments) mit dieser beachtlichen Rate zumindest im Post Processing hochgenau auswertbar sind und dadurch das Nachbrechen von Abrisskanten oder die Bewegung von Schuttströmen direkt messbar werden.

5. Ortung und Dokumentation von Rissbildungen

Auch Risse an Bauwerken können als natürliche Ziele auf künstlicher Struktur aufgefasst werden. Im letzten Kapitel soll ein Zukunftsfeld des Monitorings angesprochen werden, welches noch zu-

wenig Beachtung in der ingenieurgeodätischen Gemeinde findet. Risse sind immer ein Zeichen dafür, dass ein Bauwerk bestimmten Spannungszuständen unterliegt, die von der Auslegung abweichen. Sie werden daher vom Bauingenieur, der ja für die Standsicherheit verantwortlich ist, sehr sorgsam registriert und in ihrer Entwicklung beobachtet. Dazu existieren zahlreiche, recht einfache, Werkzeuge zur Rissbreitenmessung.

Eine Neuerung auf Basis einer digitalen Kamera und photogrammetrischen Methoden stellt das Digitale Rissmesssystem (DRS) des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der TU Braunschweig dar [15], welches höchste Genauigkeit mit Objektivierung vereint. Im Kern besteht das DRS aus einer kalibrierten Riss-Kamera mit festem Tubus und Passmarken, gleichmäßiger Ausleuchtung sowie mono- und multispektralen Erfassungsoptionen. Rissbreiten sind mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05$ mm bestimmbar, wobei die zugehörige Auswertesoftware auch eine automatische Rissverfolgung nach dem Polyline-Fly-Fisher Algorithmus und ein virtuelles Zusammenschieben detektierter Rissufer erlaubt.

Zur Überwachung der Rissentwicklung müssen die Risse wieder aufgefunden werden, was sich bei zahlreichen Rissen auf einem ausgedehnten Bauwerk recht mühsam gestalten kann. Wünschenswert ist daher eine Rissverortung bei der Erstaufnahme; an Methoden dazu arbeitet man in Braunschweig. Aus Münchner Sicht ergibt sich durch die IATS2 nun aber eine völlig neue Möglichkeit, nämlich das Monitoring mittels bildgebendem Tachymeter. *Wasmeier* hat dazu in seiner Dissertation [13] zukunftssträchtige Vorversuche durchgeführt (Abb.7). Für den Bauingenieur bleibt dann nur mehr ein Wunsch unerfüllt: die Erfassung der Risstiefe.

6. Ausblick

Monitoring stellt generell eines der attraktivsten, verantwortungsvollsten, aber auch lohnendsten Aufgabenfelder der Ingenieurgeodäsie dar. Immer mehr Objekte gilt es messtechnisch zu überwachen und das immer öfter. Wenn dies in näherer Zukunft für bestimmte Anwendungen auch ohne herkömmliche Vermarkungen und Signalisierungen erfolgen kann, eröffnen sich neue Strategien und Märkte. Der Fachgemeinde und potentiellen interdisziplinären Partnern einen Überblick über entsprechende Anwendungen, Instrumente und Methoden aus Sicht der aktuellen Forschung zu verschaffen, war Ziel dieses Aufsatzes.

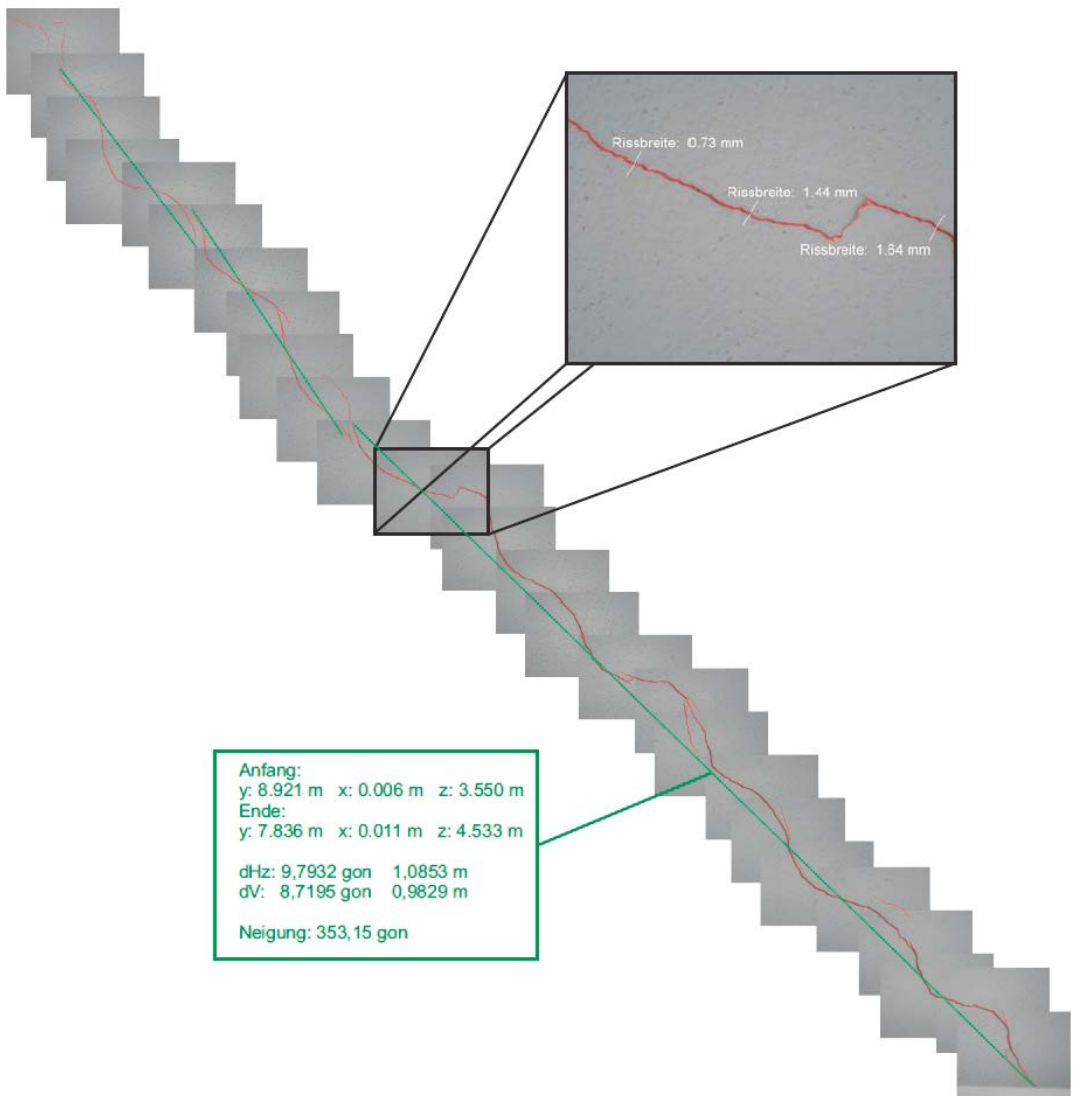


Abb.7: Rissverortung und -monitoring mit der IATS2 (Quelle: Dr.-Ing. Peter Wasmeier, Lehrstuhl für Geodäsie, TUM)

Literaturverzeichnis

- [1] Ohlmann-Bartusel, J.: Bestimmung flächenhafter Deformationen einer ausgebrochenen Tunnelaibung mit multitemporalen Laserscanning-Daten. Tagungsband zu den 8. Oldenburger 3D-Tagen, Verlag Wichmann, Heidelberg, 2009.
- [2] Ohlmann-Bartusel, J.: Innovative determination of areal deformations of an excavated tunnel intrados by multitemporal laser scanning data. Diplomarbeit, TU München, 2008.
- [3] Schäfer, Th.: Deformationsmessung mit Laserscanning am Beispiel eines Schleusentores des Donaukraftwerks Gabčíkovo. Tagungsband zu den 3. Oldenburger 3D-Tagen, Verlag Wichmann, Heidelberg, 2004.
- [4] Ohlmann-Bartusel, J., Weber, Th., Schäfer, Th., Rauch, S.: 3D-Laserscanning in der Ingenieurgeodäsie. Tagungsband zum 3. forum3D, Eigenverlag, Fachgebiet CAAD, TU München, 2009.
- [5] Ohlmann-Bartusel, J., Höfle, R., Fillibeck, J.: Ortsbrustdeformationen – Ortsbruststandsicherheit. Forschungsbericht, Blaue Reihe des Lehrstuhls für Geodäsie, Eigenverlag, TU München, 2009.
- [6] Wunderlich, Th., Staiger, R.: „Schneller, weiter, effizienter, ...“ – Aktuelle Entwicklungen der Scannertechnik. In: DVW-Mitteilungen, Bd.54, Wißner Verlag, Augsburg, 2008.
- [7] Schäfer, Th.: Bodengestützte interferometrische SAR Radarsysteme (GB-SAR) – ad hoc Marktübersicht. Blaue Reihe des Lehrstuhls für Geodäsie, Eigenverlag, TU München, 2009.
- [8] Bernardini, G., Ricci, P., Coppi, F.: A ground-based microwave interferometer with imaging capabilities for re-

mote measurements of displacements. Proceedings of the GALAHAD Workshop, 7th Geomatic Week, Barcelona, 2007.

- [9] ClimChAlp: Slope Monitoring Methods – A State of the Art Report (Compilation: Th. Schäfer). Final Report of WP6 Project 'ClimChAlp' Interreg III B Alpine Space, EU, 2008
- [10] Wasmeier, P.: Videotachymetrie – Sensorfusion mit Potential. AVN, 116.Jg., Heft 7, Verlag Wichmann, Heidelberg, 2009.
- [11] Walser, B.: Development and Calibration of an Image Assisted Total Station. Dissertation, Mitt. d. Inst. f. Geodäsie und Photogrammetrie Nr. 87, ETH Zürich, 2005
- [12] Thuro, K., Wunderlich, Th., Heunecke, O.: Development and testing of an integrative 3D early warning system for alpine instable slopes (alpEWAS). Geotechnologies Science Report, S.101-112, BMBF, 2007.
- [13] Wasmeier, P.: Grundlagen der Deformationsbestimmung mit Messdaten bildgebender Tachymeter. Dissertation, DGK Reihe C, Nr. 638, 149 S., TU München, 2009.
- [14] Thuro, K., Wunderlich, Th., Heunecke, O., Singer, J., Schuhbäck, S., Wasmeier, P., Glabscg, J., Festl, J.: Low cost 3d early warning system for instable slopes – the Aggenalm Landslide monitoring system. Geomechanics and Tunneling, Vol.2, No.3, p.221-237, Ernst & Sohn, Berlin, 2009.
- [15] Niemeier, W., Riedel, B., Neuß, H., Stratmann, R., Ziem, E., Fraser, C.: Digitales Rißmeßsystem (DRS) – Ein neues Instrument für die Bauwerksüberwachung. Homepage Geotec, Laaten, 2007.

Anschrift des Autors

Univ.Prof. Dr.-Ing.habil. Thomas A. Wunderlich, Lehrstuhl für Geodäsie, Technische Universität München, Arcisstraße 21, D-80290 München.

E-mail: th.wunderlich@bv.tum.de

Vortragender

Prof. Dr.-Ing. Thomas Alexander Wunderlich

- 1955 Wien
- 1974–1979 Studium des Vermessungswesens an der TU Wien
- 1980–1997 Universitätsassistent an der TU Wien am Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie
- 1983 Promotion zum Dr.techn. an der TU Wien
- 1984 Forschungsaufenthalt am IGP der ETH Zürich
- 1987–1988 Alexander v. Humboldt-Forschungsstipendium am Geodätischen Institut der Universität Hannover
- 1992 Habilitation an der Universität Hannover
- 1993 Habilitation an der TU Wien
- 1997–1999 tit. a.o. Universitätsprofessor an der TU Wien
- 2000 Ordinarius für Geodäsie an der TU München
- 2002 Friedrich-Hopfner-Medaille der ÖGK; Ordentliches Mitglied der DGK
- 2004 Korrespondierendes Mitglied der ÖGK
- 2006 Ehrennadel der Fakultät BI der UPT Timisvar
- 2008 Ehrenmedaille der Fakultät BV der STU Bratislava; Mitglied der Bayer. Komm. f. d. int. Erdmessung
- 2009 Ständiger Sekretär der DGK

vgi



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

An der Fakultät für Mathematik und Geoinformation der Technischen Universität Wien ist am Institut für Geodäsie und Geophysik die Stelle für eine/n

Universitätsprofessor/in für Geophysik

in Form eines zeitlich unbefristeten vertraglichen Dienstverhältnisses
ab 01.01.2011 zu besetzen.

Der/Die Stelleninhaber/in soll das Fach Geophysik in Forschung und Lehre vertreten. Schwerpunkte der Professur sind die Physik und Dynamik der festen Erde, die darin ablaufenden Prozesse und die zu ihrer Erfassung geeigneten geophysikalischen Verfahren, wobei die Integration geophysikalischer Methoden (Seismologie, Geoelektrik, Magnetik, Gravimetrie, ...) mit geodätischen Daten wesentlich ist. Ein Bezug zu aktuellen gesellschaftlichen und technischen Herausforderungen (z. B. Naturkatastrophen und globale Umweltveränderungen) ist von Vorteil.

Von den Bewerberinnen und Bewerbern wird vorausgesetzt, dass sie als hervorragende Wissenschaftler/innen auf dem Gebiet der Geophysik ausgewiesen sind und eine international führende Rolle innehaben. Erwartet wird Erfahrung im Einwerben und der Durchführung von nationalen und internationalen Forschungsprojekten sowie die Fähigkeit zur integralen Modellbildung in Kooperation mit Partnern aus wissenschaftlichen Nachbardisziplinen. In der Lehre wird von einer angemessenen Beteiligung bei der Ausbildung von Studierenden der Fachrichtung „Vermessung und Geoinformation“ ausgegangen.

Nähere Informationen finden Sie unter: <http://info.tuwien.ac.at/dekzent/Ausschreibungen.html>

Bewerbungen mit ausführlichem Lebenslauf, Publikationsliste, Vortragsliste, Darstellung der eigenen Pläne zur Forschungstätigkeit und deren Einbindung an der TU Wien sowie Kopien der fünf wichtigsten Veröffentlichungen sind bis **15. November 2009** (Datum des Poststempels) an den **Dekan der Fakultät für Mathematik und Geoinformation der Technischen Universität Wien, Getreidemarkt 9, A-1060 Wien**, zu richten. Der schriftlichen Bewerbung sollte eine CD-ROM beigelegt werden, welche die kompletten Bewerbungsunterlagen enthält.