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

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 90 (1992)

Heft: 7

Artikel: Die automatische Messanlage Vicosoprano

Autor: Aeschlimann, H. / Clement, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-234853

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: 16.07.2025

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

Die automatische Messanlage Vicosoprano

H. Aeschlimann, A. Clement

Seit einigen Jahren stehen computergesteuerte, automatische Theodolite zur Verfügung. Die heikle Operation bei automatischen Messungen ist das automatische Zielen. Für Anwendungen in der Industrie, d.h. für Vorwärtseinschnitte auf kurze Distanzen, werden dafür CCD-Kameras verwendet. Eine Version eines automatischen Theodolits ohne CCD-Kamera, aber mit Distanzmesser (WILD T3000D mit DI3000 von Leica Heerbrugg) steht seit bald einem Jahr für die kontinuierliche Verfolgung von Geländebewegungen im Einsatz. Die Resultate geben nicht nur Aufschluss über die Bewegungen, sondern ebensosehr über das Verhalten der Messanlage und der Atmosphäre.

Des théodolites automatiques commandés par ordinateur sont à disposition depuis quelques années. Dans le domaine des mesures automatiques, la visée automatique constitue l'opération la plus délicate. Pour les applications industrielles, c'est-à-dire pour les recoupements sur distances réduites, des caméras CCD sont utilisées à cet effet. Une version d'un théodolite automatique sans caméra CCD, mais avec un appareil de mesure électronique des distances (Wild T3000D avec DI3000 de Leica Heerbrugg), est en service depuis près d'un an pour la mesure en continu des mouvements de terrain. Les résultats renseignent non seulement sur les mouvements, mais tout autant sur le comportement du système de mesure et sur celui de l'atmosphère.

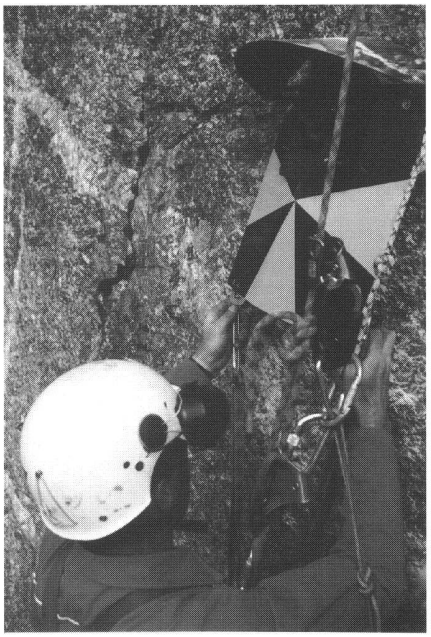


Abb. 2: Montage einer Zieltafel mit Reflektor in der Felswand.

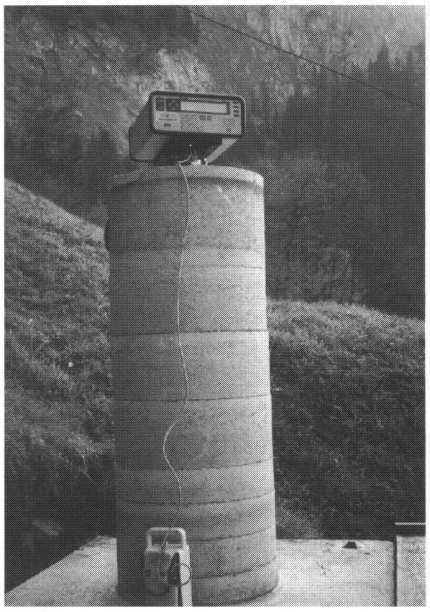


Abb. 3: GPS-Empfänger, Trimble Navigation.

1. Ausgangslage

Problem

Im Steilhang von Spazzacaldeira südlich von Vicosoprano (Bergell, Kt. Graubünden) ist ein Felskomplex infolge einer allgemeinen Auflockerung und Felszerreissung in Bewegung. Seit einigen Jahren zeigen Abbruchereignisse in Form von Steinschlag, dass der Felskomplex weiterhin aktiv ist. Begehungen in der Abbruchzone, Interpretation von Lufbildern (Messbildaufnahmen aus dem Helikopter) und geoädtisch gemessene Verschiebungsbeträge deuten darauf hin, dass Felsabbrüche in Form von Steinschlag weiterhin zu erwarten sind.

Angesichts des bisher festgestellten Verlaufes der Bewegungen und der Grössenordnung der Abbrüche scheint es angezeigt, dass dem verantwortlichen Geologen für die Beurteilung des Grades der Bedrohung der unterhalb dieser Zone liegenden Gebiete, Verschiegungsmessungen in möglichst kurzen Zeitabständen zur Verfügung stehen. Somit liegt es nahe, eine Messanlage für die automatische Messung von Horizontalrichtungen, Vertikalwinkeln und Distanzen zu installieren. Die Messanlage soll gegebenenfalls auch Sensoren für andere Grössen automatisch betreiben können. Ein Computer sorgt für den automatischen Ablauf des Messprogrammes, wobei die Software auch Auswertungen – als Fernziel z.B. Grundlagen für eine Prognose – durchführen soll.

Bestehende geodätische Messanlage

Im September 1990 entschloss man sich, ein geodätisches Messsystem zur Beobachtung von Geländeverschiebungen einzurichten. Im Gegenhang zur Spazzacaldeira wurden zwei auseinanderliegende Messpfeiler mit einer Basislänge von ca. 2000 m gebaut. Von diesen Pfeilern (PF 1000 und PF 2000, vgl. Abb. 5, Netzplan) kann die Rutschzone mittels Vorwärtseinschnitt mit Richtungs- und Höhenwinkelmessung, sowie Distanzmessung beobachtet werden. Die durchschnittliche Beobachtungsdistanz beträgt ca. 2000 m mit einer Höhendifferenz von 200–800 m. Als Zielpunkte wurden mittels erschwertem Helikopereinsatz in einem ersten Schritt an den Felspartien acht Zieltafeln mit Reflektoren permanent versichert.

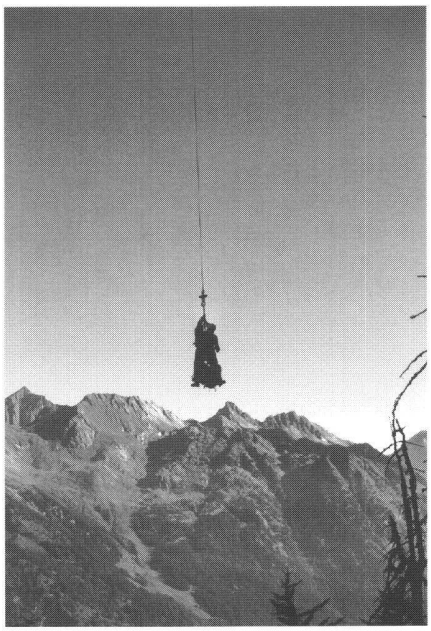


Abb. 1: Bergführer und Vermessungsspezialist am Helikopterseil.

Als Instrumentarium wird ein Theomat T2000 mit einem Distomat DI2000 von Leica Heerbrugg eingesetzt. Ein lokales und ein grossräumiges Pfeilerversicherungssystem dienen als Rückversicherung der Messpfeiler. Mit Versicherungen im Umkreis von 100–200 m werden allfällige lokale und, bezogen auf Triangulationspunkte in der Talsohle mittels GPS

(Global Positioning System), allfällige grossräumige Bewegungen an der Pfeilerbasis erkannt. Die Auswertung erfolgt mittels strenger Ausgleichung.
Die Netzausgleichung lieferte neben den primär benötigten Koordinaten auch einen Schätzwert für die erreichte Genauigkeit. Aufgrund der verwendeten Geräte und den herrschenden Bedingungen entspricht er den Erwartungen.
Um der eingangs aufgezeigten Problemstellung gerecht zu werden, wurde die bestehende Messanlage, wie im folgenden beschrieben, zu einer automatischen Messanlage ausgebaut. In diesem Zusammenhang wurde ein dritter Pfeiler (PF 3000, vgl. Abb. 5, Netzplan) erstellt, sowie im Rutschgebiet weitere 12 Zielvorrichtungen angebracht. Dadurch wird die Genauigkeit der Resultate der bestehenden und weiterhin konventionell betriebenen Messanlage verbessert. Ausserdem ist dieser Pfeiler für eine langfristige Prüfung sowohl der bestehenden als auch der neuen Messanlage mit GPS vorgesehen.

Abb. 4: Messhäuschen mit Fenster aus Floatglas.

2. Neue Messanlage

Messstation und Netz

Die neue Messstation liegt oberhalb des Dorfes Vicosoprano am linken, südwärts geneigten Talhang auf 1140 m.ü.M. Die Rutschzone liegt wie bereits beschrieben auf dem gegenüberliegenden Talhang. Die Visuren führen in mehr als 100 m Höhe über Boden durch die freie Atmosphäre.
Die Punkte in der Rutschzone sind unverändert in die neue Messanlage übernommen worden. Jeder Punkt ist somit durch eine Zieltafel und einen Reflektor permanent signalisiert. Die Zieltafel wird für die manuellen Messungen auf der bestehenden Messanlage benützt. Die automatische Messanlage benötigt nur den Reflektor im Zielpunkt.
Alle Geräte der Messstation sind in einem komfortablen Messhäuschen untergebracht. Der Beobachtungspfeiler ist unabhängig vom Boden des Messhäuschens im gewachsenen Boden fundiert. Die Fenster bestehen aus Floatglas, das wegen seiner hohen Oberflächenqualität Messungen durch das Glas hindurch gestattet.
Obwohl das Instrumentarium einer automatischen Messanlage eine erhebliche Investition darstellt, können trotzdem nicht alle, z.T. sehr willkommene Eigenschaften der bestehenden Messanlage bewahrt werden. Das Netz der bestehenden Messanlage lieferte überschüssige Messungen, die eine Schätzung der erreichten Genauigkeit durch Ausgleichung von Messungen verschiedener Stationen erlaubte.
Die neue Messanlage umfasst nur noch einen einzelnen Beobachtungspfeiler; ein Netz im hergebrachten Sinne besteht nicht. Andererseits liegt Beobachtungsmaterial in einer Fülle vor, wie es bei einer manuell betriebenen Anlage nie anfällt. Durch Analysieren von Zeitfunktionen können Erkenntnisse gewonnen werden, die im Material der bestehenden Messanlage kaum enthalten sind. Daraus lässt sich auch ein Schätzwert für die auf der neuen Anlage erreichte Genauigkeit ableiten.

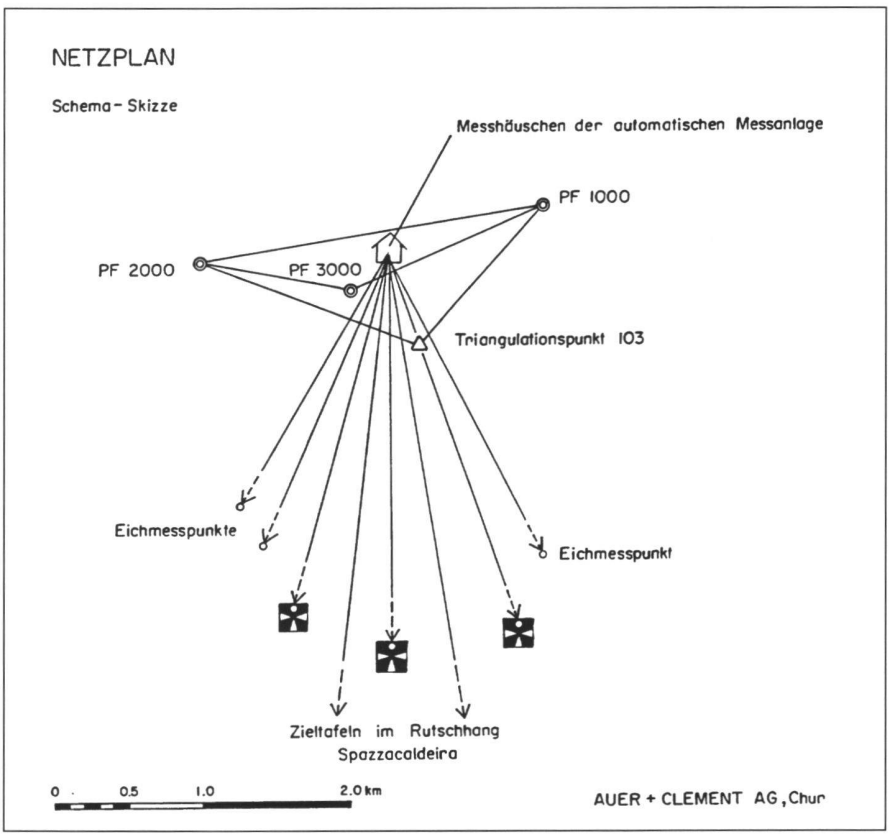


Abb. 5: Netzplan der Messanlage.

Die Lage des Beobachtungspfeilers wird durch eine Nahversicherung kontrolliert. Dazu sind vier Punkte vorgesehen; drei davon sind im Fels, der vierte auf einem Pfeiler versichert. Die Distanzen betragen 20–100 m. Der Pfeiler der Nahversicherung ist gleichzeitig der neue, dritte Pfeiler der bestehenden Messanlage.

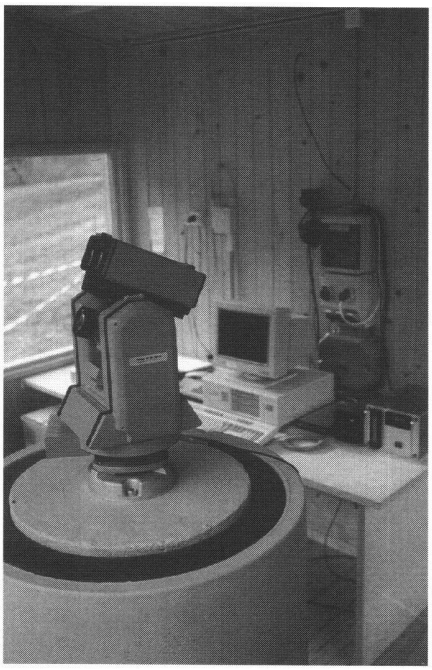


Abb. 6: Inneres des Messhäuschens.

Messtechnische Verhältnisse, Eichpunkte

Die atmosphärischen Verhältnisse längs der Visuren sind wegen dem ausgeprägten Einfluss von Sonnenhang und Schattenhang sowohl für die Messung von Vertikalwinkeln als auch von Distanzen sehr komplex. Es sind Variationen in Funktion des Wetters, der Tageszeit und der Jahreszeit zu erwarten. Ausser diesen prinzipiellen Schwierigkeiten stellen sich auch praktische Probleme. Beispielsweise sind Messwerte der Atmosphärenparameter in der Rutschzone mit vertretbarem Aufwand nicht zu gewinnen. Auf alle Fälle wäre dafür eine automatische Messstation zu installieren. Die Energieversorgung und der Datenverkehr über Kabel wäre angesichts der Unwegsamkeit des Geländes eine überaus teure und kaum wintersichere Angelegenheit. Als Alternative bietet sich nur die Sonnenenergie an. Allerdings läge die Messstation mehrere Monate im Jahr im Schatten. Eine Sonnenenergieanlage zur Speisung der Messgeräte, des Prozessors und der unabdingbaren Funkanlage entpuppt sich aus finanziellen Gründen als Illusion. Um eine autonom betriebene Meteo-Station zu rechtfertigen, müsste die Brauchbarkeit der Resultate in entscheidender Weise von diesen Atmosphärenparametern abhängen. Davon kann hier keine Rede sein.

Zum Erfassen des integralen Einflusses der Atmosphäre auf Messwerte – sowohl Distanzen als auch Vertikalwinkel – sind feste Eichpunkte möglichst nahe bei den rutschenden Punkten allen andern Methoden überlegen. Je näher beieinander sie liegen und je ähnlicher der Verlauf der Visuren über dem Boden ist, umso eher darf angenommen werden, dass der Zustand der Atmosphäre sich auf die Eichpunkte und auf die Punkte der Rutschzone gleich auswirkt. Im Hang von Spazzacaldeira sind die Eichpunkte und die Punkte der Rutschzone wie folgt verteilt:

Horizontalrichtungen innerhalb 11 Gon,
Zenitdistanzen 71–80 Gon,
Distanzen 1700–2400 m.

Jeder der vorläufig vier Eichpunkte definiert eine Eichstrecke zum integralen Erfassen der Einflüsse der Atmosphäre. Die Eichpunkte dienen drei Zwecken:

- Orientierungspunkte für die Horizontalrichtungen nach den Punkten der Rutschzone,
- Eichpunkte für die Vertikalwinkel,
- Eichstrecken für die Distanzen.

Da die Unveränderlichkeit der Eichpunkte nach dem Urteil der Geologen nicht über alle Zweifel erhaben ist, muss die Lage der Eichpunkte periodisch überprüft werden. Dafür ist die bestehende Messanlage vorgesehen.

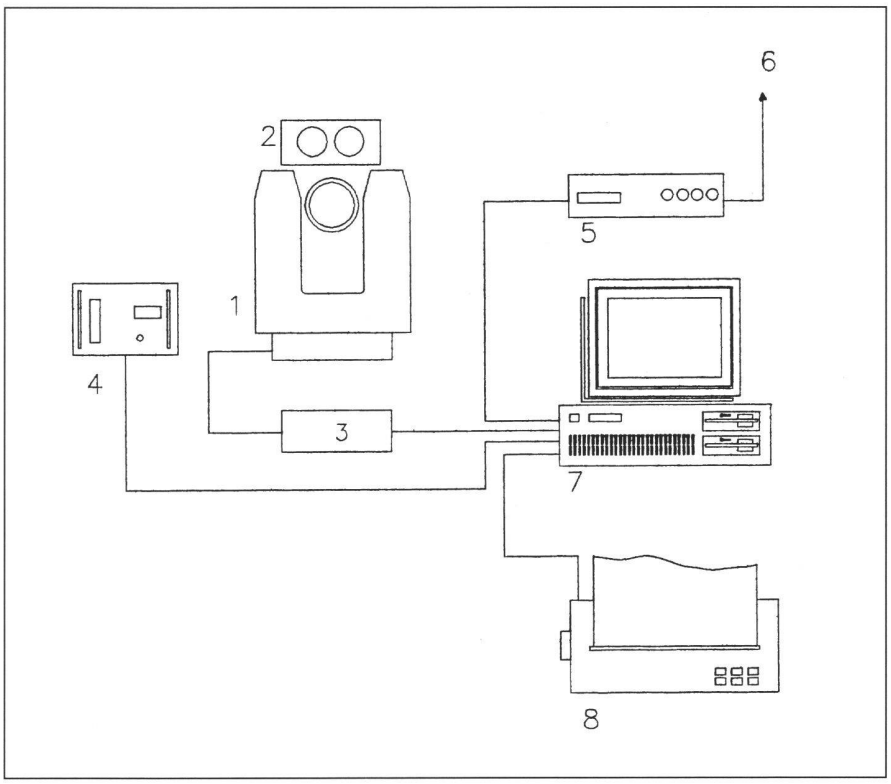
Der Betrieb von autonomen Messstationen aller Art hängt immer von der Sicherstellung des Energiebedarfs während der Betriebsdauer ab. Um die Bewegung von absturzgefährdeten Felsmassen zu verfolgen, wären lokale Messgeräte hochwillkommen, z.B. genaue Abstands-Sensoren, Neigungsmesser oder eine GPS-Station. Ihre Installation scheiterte vorläufig am Fehlen einer vertretbaren Lösung des Energieproblems.

3. Messsystem

Konfiguration und Software

Das Messsystem der neuen Messanlage besteht im wesentlichen aus einem automatisch messenden Theodolit mit Distanzmesser, aus den Reflektoren auf den Zielpunkten, sowie aus dem Computer und der Software für die Steuerung der Messgeräte.

Die Vielzahl der zu beherrschenden Funktionen erfordert eine entsprechend gegliederte System-Software, die andererseits alle Messgeräte zu einem automatisch gesteuerten Messsystem zusammenfasst. Neben dem Behandeln des Steuerungsproblems steht genügend Computerkapazität für die Behandlung der Messwerte und der Telekommunikation über das PTT-Netz zur Verfügung.



1 Theodolit WILD TM3000D
2 Distanzmesser WILD DI3000
3 Interface zu Computer WILD GIF11
4 Meteo-Sonde THERMOTRONIC CRL 210 für Luftdruck und Temperatur der Stationsumgebung
5 Fax-Modem
6 PTT-Netz
7 Computer Compaq Deskpro 386 Mod. 40
8 Nadeldrucker EPSON LQ-400

Abb. 7: Konfiguration des Messsystems.

VERAMESS MessStation VICOSOPRANO Sun Jan 12 92 01:51 PAGE 1/3

Messzeit	Temp	Druck	Massstab	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
02:01:00	-2.6	886.5	0.9999566						*				*							*		*	*			
04:01:01	-3.8	887.2	0.9999569						*				*							*		*	*			
06:01:01	-4.3	887.7	0.9999586						*				*							*		*	*			
08:01:01	-4.3	889.4	0.9999583						*				*							*		*				
10:01:01	-3.5	891.1	0.9999579						*				*							*		*				
12:01:01	-0.7	891.7	0.9999579						*				*							*		*				
14:01:01	1.9	891.2	0.9999560						*				*							*		*				
16:01:01	0.0	891.4	0.9999543						*				*							*		*				
18:01:01	-1.8	891.4	0.9999565						*				*							*		*				
20:01:01	-2.5	891.8	0.9999585						*				*							*		*				
22:01:01	-3.2	891.6	0.9999579						*				*							*		*				
00:01:00	-4.3	892.4	0.9999585	*					*				*									*				

Im gegenwärtigen Ausbaustand der Messanlage werden jeden Morgen um 01.30 folgende 4 Tabellen über Fax automatisch an verschiedene an den Resultaten interessierte Stellen gesendet: Sichtbarkeit der Punkte, Koordinaten und Koordinatenänderungen der Punkte der Rutschzone, Abrisse horizontal und vertikal, Stationskoordinaten aus der Nahversicherung.

Für die Berechung der Koordinaten werden die Distanzen zuerst anhand der Meteowerte korrigiert, nachher wird mit jeder der 4 Eichstrecken der genaue Massstabsfaktor berechnet und alle 4 gemittelt. Wären die Meteowerte für die Distanzen repräsentativ, so wäre der Massstabsfaktor in der Tabelle konstant. Der um etwa 43 × 10^{-6} von 1 abweichende Wert geht auf alte Bezugswerte zurück.

Die Punkte A–D sind Eichpunkte, die Punkte E–Q befinden sich in der Rutschzone, R–T sind Punkte der Nahversicherung. Die Sichtbarkeitstabelle zeigt, dass die Punkte F, J und S den ganzen Tag unsichtbar waren, sie waren eingeschneit.

Abb. 8: Tabelle der Sichtbarkeit der einzelnen Punkte.

Das Vermessungsmodul der System-Software speichert alle Messwerte, korrigiert sie anhand der Eichpunkte, berechnet die aktuellen Koordinaten der Punkte in der Rutschzone sowie die Stationskoordinaten aus der Nahversicherung. Das Vermessungsmodul ist im Hinblick auf Analyse und Extrapolation der Resultate sowie bezüglich Darstellung der Resultate als Tabellen oder als Grafik (Weg-Zeit-Diagramme, Grundrisse, Aufrisse, Profile etc.) beliebig ausbaubar.

Messgeräte

Als Messgeräte werden ein WILD TM3000D mit einem auf das Fernrohr aufgesetzten WILD DI3000 – beide von Leica – verwendet. Eine von Leica Heerbrugg stammende, auf dem Computer der Messstation laufende Betriebssoftware erlaubt, eine definierte Anzahl Punkte automatisch anzuzielen. Sie integriert damit die Gerätekombination zu einem **A**utomatischen **P**olar-Mess-**S**ystem, das sinnfälligerweise mit APS bezeichnet wird. Theodolit und Distanzmesser werden zusammen über das zugehörige Interface GIF11 an den Computer angeschlossen.

Zum Messen von Luftdruck und Lufttemperatur in der Umgebung des Messhäuschens dient ein digitales Messgerät von Thermotronic (Typ CRL 210).

Als Computer wird ein PC Compaq Deskpro 386 Mod. 40 mit einem Nadeldrucker EPSON LQ-400 eingesetzt.

Telekommunikation

Die Telekommunikation erlaubt die automatische Übermittlung von Resultaten an interessierte Stellen, z.B. Ingenieurbüros, Geologen, Amtsstellen etc. Sie ermöglicht ausserdem die Fernbedienung der Messanlage soweit es die installierte System-Software zulässt. In Vicosoprano ist zur Zeit folgendes vorgesehen: täglich automatische Übermittlung eines Protokolles über die Sichtbarkeit der Punkte, der aktuellen Koordinaten der Punkte in der Rutschzone, der Abrisse horizontal und vertikal und der aus der Nahversicherung berechneten Stationskoordinaten. Zudem stehen folgende Funktionen zur Verfügung: Abrufen von gespeicherten Daten, Ändern des Zeitintervalles zwischen den Messungen, Wechseln des Auswertemodus, Ergänzen der Teilnehmerliste für die automatische Übermittlung von Resultaten. Dadurch ist ein autonomer Betrieb ohne Eingriffe eines Operateurs auf der Messstation während längerer Zeit möglich. Für generelle Informationen haben sich Mitteilungen auf Fax – sei es als Tabelle oder als grafische Darstellung – als überaus bequem erwiesen.

4. Gerätetechnische Bemerkungen

Zielmethode

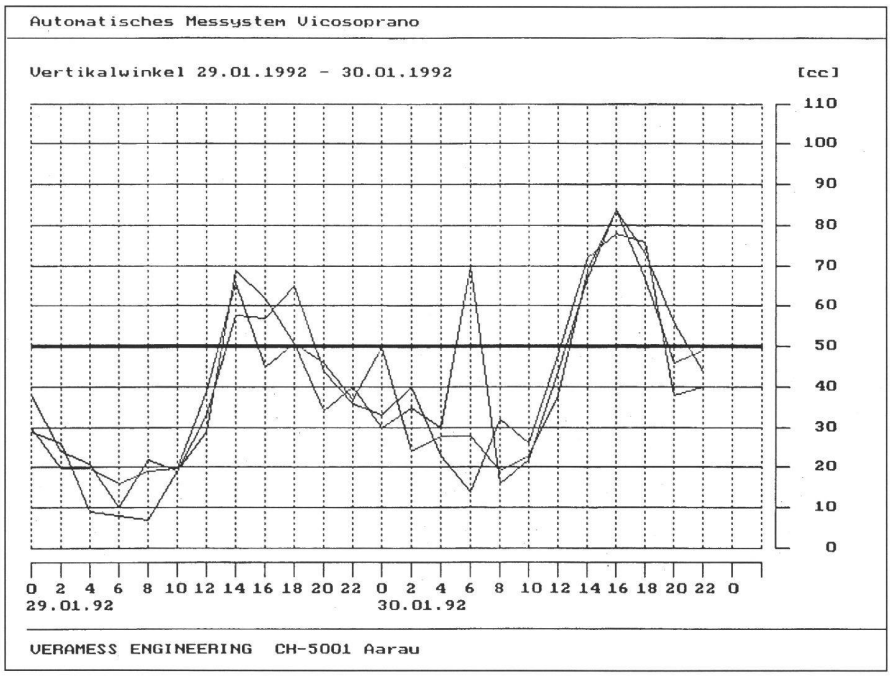
Automatisches Messen mit einem Theodolit beruht auf automatischem Zielen. Da auf gerätetechnisch einfache Weise eine Zielung durch ein Fernrohr analog zur Zielung eines Beobachters nicht zu verwirklichen ist, nützt man einige Eigenschaften des ohnehin erforderlichen Distanzmessers aus.

Ein Distanzmesser erfordert zum Auswerten des Messignals eine gewisse minimale Signalstärke im Empfänger. Er muss somit über ein Element verfügen, das die Stärke des reflektierten Signals zu messen gestattet. Die Möglichkeit, die Signalstärke zu messen, kann zur Festlegung eines Zielkriteriums verwendet werden. Danach gilt eine Zielung als ausgeführt, wenn bei schrittweisem Annähern an den Reflektor die Signalstärke einen festgelegten Wert erreicht. Der Zielvorgang setzt sich somit zusammen aus dem fortwährenden Wiederholen von Zielschritten bis zum Erfüllen des Zielkriteriums. Ein Zielschritt besteht im Drehen des Theodolits um einen Elementarschritt des Antriebsmotors und im anschliessenden Abfragen der Signalstärke.

Durch softwaregesteuertes Detektieren des Signalrandes mit Hilfe von Zielschritten von links und von rechts sowie von oben und von unten, ergibt sich durch Mitteln der Messwerte die Horizontalrichtung und die Zenitdistanz der Achse des Strahlungskegels. Diese Mittelwerte – die Messwerte – zielen auf das Zentrum des Reflektors. Die APS-Betriebssoftware führt die Zielungen nach dieser Methode aus. Eine Zielung in horizontaler und vertikaler Richtung dauert mit der Distanzmessung 1½ Minuten.

Unterschiede zur manuellen Zielung

Das Zielen mit dem Distanzmesser liefert weniger genaue Werte als das Zielen eines Beobachters mit einem Fernrohr. Der



Für den 29. und 30. 01. 1992, beide Tage mit wolkenlosem Wetter, sind die Zenitdistanzen von 3 der insgesamt 4 Eichpunkte aufgetragen. Um die Übereinstimmung der Variation als Funktion der Zeit hervorzuheben, sind die Zenitdistanzen durch Addition einer Konstanten gegeneinander orientiert worden. Die Variation – wo auch immer die Ursachen liegen mögen – beträgt an diesen Tagen rund 60cc in 24 Stunden.
Aufgrund der Konstanz der Variation anerbietet sich als bequeme Rechengrösse das Mittel aus einer wolkenlosen Periode von 24 Stunden. Wenn während einer gewissen Zeit nicht alle Messungen vorliegen, so wird das 24-Stunden-Mittel verfälscht. Um der Verfälschung vorzubeugen, müssten alle Messungen einzeln reduziert werden, was hingegen voraussetzen würde, dass stets Eichpunkte sichtbar sind. Aufgrund der bisher vorliegenden Erfahrung sind nur die Mittel von wolkenlosen 24-Stunden-Perioden zuverlässig vergleichbar.
Die Messreihe bringt keineswegs neue Erkenntnisse. Neu ist nur, wie bequem derartige Effekte dokumentiert werden.

Abb. 9: Variation der Zenitdistanzen.

Grund liegt vor allem im relativ schlecht definierten Signalrand. Das Zielen mit dem Distanzmesser bietet aber den Vorteil von Messungen währen der Nacht ohne zusätzliche Hilfsmittel.
Da die Ziellinie durch den Distanzmesser definiert wird, ist zu beachten, dass nach Demontieren und erneutem Montieren des Distanzmessers die Vertikalwinkel ändern.

5. Korrektur der Messwerte anhand der Eichpunkte

Die Eichpunkte werden für die Orientierung der Horizontalrichtungen und für die Korrektur des Einflusses der Atmosphäre wie folgt verwendet:

Die Azimute der Horizontalrichtungen ergeben sich aus einem Abriss. Als Bezugsrichtungen werden die Mittel aller Messungen während einer mehrtägigen Periode eingesetzt.
Analog zum Abriss mit Horizontalrichtungen wird anhand der Vertikalwinkel der Bezugsmessung ein Abriss mit den zu orientierenden Vertikalwinkeln berechnet. Die Orientierungsunbekannte entspricht abgesehen vom Verhalten des Theodolits der Änderung des durchschnittlichen Refraktionswinkels.
Für die Korrektur der Distanzen wird der Quotient aus der aktuellen und der Bezugsmessung gebildet und als Massstabsfaktor zur Reduktion der Distanzen zu den Punkten der Rutschzone verwendet. Damit lassen sich die Korrekturen anhand der Lufttemperatur und des Luftdruckes in der Überwachung des Messhäuschens richtigstellen.

Kontinuierliche, automatisch ausgeführte Messungen geben einen erheblich besseren Einblick in die Abhängigkeiten verschiedener Grössen und in die Auswirkungen von systematischen Einflüssen. Messungen auf der bestehenden Messanlage unterliegen diesen Einflüssen gleichermassen, nur sind sie oft kaum zu erkennen.

6. Resultate

Verschiebungen einzelner Punkte

Die eingangs erwähnte Gefährdung wird anhand der räumlich zurückgelegten Wege der eingemessenen Punkte beurteilt, wobei die Wege durch die Koordinaten in den Zeitpunkten der Messungen jedes einzelnen Punktes dargestellt werden. Je nach dem Anteil der zufälligen Fehler an der festgestellten Verschiebung ergeben sich oft seltsame Wege, die dem Vermessungsfachmann nicht neu sind, die aber immer wieder zu Zweifeln an der Tauglichkeit vermessungstechnischer Methoden führen, Fehlerellipsen und Konfidenzintervalle hin oder her.
Übersichtlicher werden die Verhältnisse, wenn anstelle der Koordinaten die Messwerte betrachtet werden. Im Falle der Verfolgung eines Punktes wird seine Bewegung primär durch seine drei Messreihen Horizontalrichtung, Vertikalwinkel und Distanz dargestellt. Messreihen in Funktion der Zeit, wie sie hier vorliegen, erlauben mühelos eine Trendanalyse durchzuführen. Sie besteht z.B. darin, die Messreihen durch eine dem Problem angepasste ausgleichende Funktion zu approximieren. Die Koordinaten zur Darstellung der für die Beurteilung erforderlichen zurückgelegten Wege der einzelnen Punkte werden alsdann nicht mehr anhand der Messwerte berechnet, sondern anhand der interpolierten Funktionswerte. Damit ergeben sich auch plausible Wege.

Genauigkeiten

Im Falle der vorliegenden automatischen Messanlage gehen die Schätzwerte für die Genauigkeit nicht aus einer Netzausgleichung hervor.
Bisher in der Vermessungspraxis selten angewandt, kann die Messgenauigkeit auch aus der oben im Zusammenhang mit der Interpolation erwähnten Trendanalyse hergeleitet werden. Dabei ist zu beachten, dass die ausgleichende Funktion einen Ansatz für die Trennung von zufälligen und systematischen Fehlern darstellt.
Ausserdem bleiben noch folgende konventionelle Wege zur Schätzung der Messgenauigkeit, sowohl von Horizontalrichtungen als auch von Vertikalwinkeln:

- aus der Berechnung des Mittels mehrerer Sätze nach den Festpunkten der Nahversicherung,
- aus der Berechnung der Stationskoordinaten mit Hilfe der Punkte der Nahversicherung,

– aus der Berechnung des Mittels mehrerer Sätze nach den festen Eichpunkten neben der Rutschzone.

Die Berechnung von verbesserten Bezugsrichtungen für die Eichpunkte aus allen Tagesmitteln im Januar 1992 ergibt für das verwendete Instrumentarium folgende mittlere Fehler:

Horizontalrichtungen $\pm 4^{cc}$
Vertikalwinkel $\pm 4^{cc}$

Die Genauigkeit der Messungen ist angesichts des auf dem DI3000 beruhenden Zielverfahren ausgezeichnet und erheblich über den Erwartungen. Die Vertikalwinkel werden mit abgeschaltetem Kompensator gemessen und die damit erhaltenen Elevationswinkel analog zu der Messung eines Satzes von Horizontalrichtungen in einem Abriss nach Bezugswerten orientiert. Erstaunlicherweise schmälern die Refraktionsänderungen die Genauigkeit der Vertikalwinkel nicht. Hingegen lassen die Resultate vermuten, dass die Zielgenauigkeit nicht für alle Reflektoren gleich ist und ausserdem von der Entfernung abhängt.
Die Distanzgenauigkeit wurde aus Distanzen nach fünf vorläufig festen Punkten der Rutschzone berechnet, nachdem sie mit dem aus den Eichpunkten hergeleiteten Massstabsfaktor korrigiert worden sind. Aus allen Messungen im Januar 1992 ergibt sich für

Distanzen (1,8–2,4 km) ± 1 mm.

Die relative Genauigkeit von $0{,}5 \times 10^{-7}$ (!) ist wegen dem die Refraktion integral korrigierenden Messverfahren ausserordentlich hoch. Sie wird unter diesen besonderen Verhältnissen wohl nur durch die innere Gerätegenauigkeit begrenzt.

7. Ansatz für eine strenge Ausgleichung

Ein theoretisch strenger Ansatz zur Bestimmung eines Schätzwertes für die Genauigkeit und unter Einschluss von ausgleichenden Funktionen für den Trend der Veränderung der Messwerte aller Punkte übersteigt den Umfang der bisher vorgesehenen Software. Um die Zwänge wegen falschen Bezugswerten auszuschliessen, müsste dieser Ansatz davon ausgehen, dass alle Festpunkte – sowohl jene für die Bestimmung der Stationskoordinaten als auch die Eichpunkte – unbekannte, allerdings unveränderliche Koordinaten haben, und dass jede weitere Messung einen Beitrag zu ihrer Bestimmung liefert.
Der Ausgleichungsansatz zur Bestimmung der unbekannten Koordinaten der Festpunkte muss sich somit über alle Punkte im Netz und über alle Messerien erstrecken. Die Festpunkte werden in allen Messerien insgesamt nur einmal mit unbekannten Koordinaten eingeführt. Alle übrigen, nicht festen Punkte erhalten in jeder Messerie andere unbekannte Koordinaten. Die durch das Fehlen von Punkten mit bekannten Koordinaten entstehende Singularität im Normalgleichungssystem der Ausgleichung wird durch geeignete Parameter für die Netzlagerung behoben.

VERAMESS MessStation VICOSOPRAMO Wed Jan 29 92 01:56 PAGE 3/4

Orientierung der Horizontalrichtungen

Nr.	Bezugs-messung	aktuelle Messung	Orientierung [gon]	orientierte Richtung	v [cc]	Diff. [cc]
1	48.6287	48.6463	-0.0176	48.6283	4	
13	46.1873	46.2056	-0.0183	46.1877	-4	
14	47.6615	47.6803	-0.0188	47.6624	-9	
17	43.3098	43.3269	-0.0171	43.3089	9	
			-0.0180			
2	49.7170	49.7350		49.7170		0
3	50.2964	50.3175		50.2995		-31
5	52.1164	52.1355		52.1175		-11
6	49.6297	49.6488		49.6308		-11
7	53.4310	53.4501		53.4322		-12
8	49.8473	49.8674		49.8494		-21
9	54.4967	54.5184		54.5004		-37
10	49.8231	49.8406		49.8226		5
11	49.9453	49.9644		49.9464		-11
12	49.5335	49.5505		49.5325		10
15	51.1606	51.1807		51.1627		-21
16	52.3042	52.3242		52.3062		-20
18	51.9598	51.9814		51.9635		-37

Die Verbesserungen v beziehen sich auf alte Bezugsmessungen aus Zeiten mit schlecht bekanntem Verhalten der Anlage. Durch Einführen von zuverlässigeren Mitteln wären die Verbesserungen v für die Messgenauigkeit repräsentativer ohne allerdings die Aussage einer strengen Ausgleichung im Sinne des letzten Abschnitts zu erreichen.

Abb. 10: Abriss horizontal.

Nr	Distanz [m]	Diff0 [mm]	Diffv [mm]	Nr	Distanz [m]	Diff0 [mm]	Diffv [mm]	Nr	Distanz [m]	Diff0 [mm]	Diffv [mm]
1	2278.001	-1	0	1	2278.001	-1	0	1	2278.001	-1	0
13	2226.590	0	0	13	2226.590	0	0	13	2226.590	0	0
14	2375.293	-3	1	14	2375.291	-5	-1	14	2375.291	-5	-1
17	1841.509	4	1	17	1841.510	5	2	17	1841.508	3	-1
2	2236.609	-18	1	2	2236.608	-19	0	2	2236.608	-19	1
3	2152.299	-26	0	3	2152.297	-28	-2	3	2152.296	-29	-2
5	1973.922	-2	1	5	1973.921	-3	1	5	1973.920	-4	0
6	1931.004	1	0	6	1931.004	1	1	6	1931.003	0	-1
7	1877.309	0	0	7	1877.310	1	2	7	1877.308	-1	-1
8	1846.442	2	1	8	1846.443	3	1	8	1846.442	2	-1
9	1717.971	1	0	9	1717.972	2	1	9	1717.972	2	0
10	2176.053	-31	-1	10	2176.053	-31	0	10	2176.051	-33	-2
11	2153.878	-32	0	11	2153.878	-32	1	11	2153.878	-32	1
12	2129.101	-4	2	12	2129.099	-6	0	12	2129.098	-7	-1
15	1946.320	-2	0	15	1946.319	-3	0	15	1946.320	-2	0
16	1864.066	1	0	16	1864.067	2	1	16	1864.068	3	0
18	1676.635	1	1	18	1676.636	2	1	18	1676.635	1	1
91	82.593	0	0	91	82.593	0	0	91	82.593	0	1
93	96.435	-1	0	93			0	93	96.436	0	1
94	94.444	-3	0	94	94.444	-3	0	94	94.445	-2	1

Die am 16. 12. 1991, 03. 01. 1992 und 23. 01. 1992 (von links nach rechts) erhaltenen Messwerte stimmen vor allem dank der im vorliegenden Falle anwendbaren Korrekturmethode ausgezeichnet überein. 1, 13, 14, 17 sind Eichpunkte. Im Tabellenkopf bedeuten: Diff0 Differenz zur Bezugsmessung, Diffv Differenz zum Vortag. Wie in den Abrissen zeigt sich auch hier, dass die alten Bezugswerte untereinander schlecht stimmen.

Abb. 11: Distanzen.

Literatur:

[1] Brunner, F.: Geodetic Refraction, Springer, 1984.

[2] Wunderlich, Th.: Geometrische Methoden zur Refraktionsbestimmung, VPK 11/86, S. 583.

[3] Kahmen, H.: Le système tachéométrique GEOROBOT à visée automatique, VPK 3/87, S. 99.

[4] Matthias, H.: Der Roboter-Theodolit Topomat, VPK 8/91, S. 427.

Adressen der Verfasser:

Dr. Heinz Aeschlimann
Veramess Engineering
Hintere Bahnhofstrasse 78
CH-5001 Aarau

Artur Clement
Auer + Clement AG
Ingenieurbureau für Vermessung
Kulturtechnik und Photogrammetrie
Tittwiesenstrasse 55
CH-7001 Chur