

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 75 (1983)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Geodätische Kontrollmessungen  
**Autor:** Krötzl, Johann  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941281>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 10.01.2025

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

# Geodätische Kontrollmessungen

Johann Krötzl

## 1. Bekannte Methoden

Bei der Überwachung der Sicherheit von räumlich weit ausgedehnten Objekten ist die geodätische Messung ein wesentlicher Teil der vielfältigen Kontrollmessungen. Es werden dabei die Triangulation, die Distanzmessung und das Präzisionsnivellement angewendet. Diese liefern die drei Koordinaten  $Y$ ,  $X$  und  $H$  einzelner Punkte in einem genau definierten System.

Die Forderung nach einer möglichst genauen, zugleich aber einfachen und kostengünstigen Erledigung der Arbeiten führt zu zwei Massnahmen:

1. Die vermuteten Bewegungen von Brücken, Dämmen, Staumauern, Tunnelröhren, Klüften und Berghängen werden durch die Einmessung von ausgewählten Punkten ermittelt. Die Veränderungen der einzelnen Punkte werden als Veränderungen des Objektes interpretiert.

2. Jede Wiederholungsmessung erfolgt nach einer strengen Vorschrift, die angibt, wie die gleichartigen Messungen und Auswertungen auszuführen sind.

Minimaler Messaufwand führt auf diese Weise zu einem Maximum an Information über das Verhalten der mit dem Untergrund oder mit dem Bauwerk verbundenen Punkte. Aus den gemittelten, mit präzisen Instrumenten erhaltenen Messwerten ergeben sich die neuen Koordinatenwerte und Angaben über die Restfehler.

Werden am gleichen Objekt auch physikalische Messgeräte wie Pendel, Neigungsmesser, Dehnungsmesser eingesetzt, sollen die Ergebnisse innerhalb der Messgenauigkeit übereinstimmen. Dasselbe gilt bei der Anwendung photogrammetrischer Verfahren.

## 2. Schwierigkeiten

Das Prinzip der Gleichartigkeit der stets nach einem festen Schema ausgeführten Messungen und Auswertungen wird früher oder später gestört:

### Bewegung der Fixpunkte

Jede neue Messanlage enthält ein System von a priori gewählten Fixpunkten. Bleibt der Umfang des Beobachtungsschemas im wesentlichen erhalten, so erfährt man mit zunehmendem Alter der Messanlage mehr über die Stabilität der verwendeten Ausgangspunkte (Fixpunkte, Stützpunkte). Meistens erkennt man, dass sich viel mehr Punkte bewegen, als man ursprünglich angenommen hat. Bei den Punktbewegungen kann es sich um kontinuierliche oder um sprunghafte Bewegungen handeln, die sich meist in einer bleibenden Verformung äussern. Gut bekannt sind die Verformungen von grossen Bauwerken und von Berghängen. Die Punktbewegungen können auch ganz lokale Erscheinungen sein.

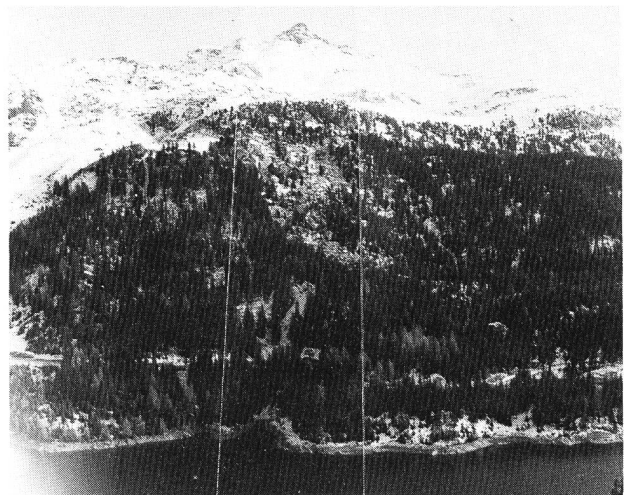


Bild 1. Der Natons-Hang von der Gegenseite aus gesehen. Im Vordergrund der Stausee Marmorera.

### Wegfall von Visuren

Es muss immer damit gerechnet werden, dass nach mehreren Jahren einzelne Visuren wegfallen, weil Zielpunkte verschwinden, Visuren verbaut werden oder zuwachsen. Oft besteht später kaum mehr eine Möglichkeit, diesen Mangel zu beheben.

Im allgemeinen ist die Verlustquote an versicherten Punkten bei den Anlagen in der Waldregion oder im bewohnten Gebiet höher als in der Felsregion der Gebirge.

### Beispiele

Einige dem Verfasser bekannte Zahlenbeispiele (Tabelle 1) mögen obige Ausführungen ergänzen. Sie lassen die beachtlichen Veränderungen erkennen, welche die Messanlagen im Laufe der Jahre erfahren haben. Ein nicht unwesentlicher Teil der neuen Punkte wurde erst auf Grund der in der Zwischenzeit erhaltenen Ergebnisse ins Beobachtungssystem eingeführt, um zusätzliche Informationen zu erhalten. Diese Beispiele zeigen, dass eine Veränderung nicht allein durch den Verfall der Messanlage bedingt ist, sondern auch eine Weiterentwicklung darstellen kann:

– Bei der Landquartbrücke wurde im Jahre 1943 ein Riegel zwischen den beiden Widerlagern eingebaut. Dadurch kam zwar die Deformation des Brückenbogens zum Stillstand. Die absolute Bewegung des ganzen Bauwerks änderte sich aber grundlegend, und damit musste auch das Beobachtungsnetz angepasst werden.

– Mit der Messanlage Natons wird eine Uferpartie des Stausees Marmorera kontrolliert. Zu Beginn der Messungen lagen die Punkte im nahezu offenen Gelände. Heute ist das Gebiet im Jungwald eingeschlossen. Die nachträgliche Erweiterung der Messanlage erstreckte sich dann in den anschliessenden, steilen, mit Blockschutt durchsetzten Nadelholz-Mischwald: Stark wechselnde Sichtverhältnisse (Bild 1).

Tabelle 1. Die Anzahl der Messpunkte in den drei Beispielen Landquartbrücke, Natons und Sedrun im Laufe der Zeit.

Art der Punkte		Anzahl Punkte Landquartbrücke	Natons	Sedrun
Fixpunkte	Bei Beginn der Messung verwendete Punkte	12 (1940)	5 (1956)	5 (1974)
	Heute verwendete Punkte	10	5	10
	Heute noch verwendbare alte Punkte	4	3	3
Stationspunkte	Bei Beginn der Messung verwendete Punkte	2	6	9
	Heute verwendete Punkte	4	5	19
	Heute noch verwendbare alte Punkte	2	3	3
Kontrollpunkte	Bei Beginn der Messung verwendete Punkte	10	18	53
	Heute verwendete Punkte	12	29	204
	Heute noch verwendbare alte Punkte	10	18	41

– Die Hangbeobachtung Sedrun liefert Grundlagen für den Ausbau eines schwierigen Teilstücks der Oberalpstrasse. Die Ausdehnung der Messanlage war am Anfang zu klein gewählt. Erst mit ihrer schrittweisen Erweiterung konnten Fixpunktzonen gefunden werden. Eine grosse Zahl von Kontrollpunkten dient jetzt als Grundlage für Detailmessungen im Projektierungsstadium.

#### *Folgerungen für die Ausgestaltung der Messanlagen*

Eine Messanlage soll so konzipiert sein, dass die oben beschriebenen, vorhersehbaren Schwierigkeiten und die nachfolgenden Veränderungen mühelos bewältigt werden können.

Die Kontinuität der Messungen wird empfindlich gestört, wenn das Beobachtungsnetz nicht rechtzeitig geändert wird. Nur wenn Zeit vorhanden ist, um die neuen Punkte zu versichern und die notwendige Vergleichsmessung auszuführen, ist eine stetige Verknüpfung der verschiedenartigen Messungen gewährleistet.

Der Sachbearbeiter soll also der Gefahr des Auftretens einer Informationslücke gut vorbereitet begegnen können.

Die gewonnenen Informationen sollen bezüglich Genauigkeit und Preis in einem vernünftigen Verhältnis zum Wert des Objektes stehen. Diese Forderung ist erfüllbar, wenn von Anfang an das Messkonzept flexibel gestaltet bzw. der Einsatz neuer Messgeräte und so die Anwendung neuer Messmethoden begünstigt wird.

### *3. Bisher übliche Massnahmen*

Studiert man verschiedene, in den vergangenen 40 Jahren ausgeführte Kontrollmessungen, so bemerkt man, dass in der Regel das Auseinanderfallen des Netzes, die rapide Abnahme der Genauigkeit der Resultate oder zweifelhafte Punktverschiebungen Massnahmen auslösten, mit denen versucht wurde, die Zuverlässigkeit der Kontrollmessungen wiederherzustellen.

#### *Fehluntersuchung*

Zunächst kann man in einem solchen Fall die Genauigkeit der Messungen und Auswertungen unabhängig vom bisherigen Verfahren vor allem auf versteckte systematische Fehler hin untersuchen. Finden sich keine Hinweise auf Mess- oder Zentrierfehler und ergibt auch die Nachrechnung keine Unstimmigkeit, so muss eine noch unbekannte Bewegung eines oder mehrerer Fixpunkte, auf die sich die Berechnung abstützt, angenommen werden.

#### *Revision des Beobachtungsnetzes*

Wird eine Fixpunktbeziehung vermutet, erweitert man in der Regel das Netz, indem man weiter auswärts liegende Punkte oder Punktgruppen als Fixpunkte bei den Folgemessungen miteinbezieht. Manchmal kann die Punktbestimmung durch Netzoptimierung beeinflusst werden, das heisst, die Punktgenauigkeit wird durch Änderung der Bestimmungselemente verbessert, zum Beispiel durch zusätzliche Visuren oder Distanzen.

#### *Einsatz neuer Instrumente*

Häufig aber greift man zum neuen und genaueren Messinstrument oder zum schnelleren Computer, dessen Vorzüge im Prospekt der Herstellerfirma einleuchtend beschrieben sind, und hofft darauf, dass mit der höheren inneren Messgenauigkeit und den eleganteren Rechenverfahren alle Probleme für die nächste Zeit zu lösen seien.

Es stellt sich nun die Frage, ob diese bisher üblichen Massnahmen auch für die nächste Zukunft als die best-



Bild 2. Ausschnitt aus der Messanlage Sedrun, vom Gegenhang aus gesehen. Die Kontrollpunkte sind mit schwarzen Tupfen markiert.

möglichen angesehen werden dürfen. Sicher wird man auf die bereits erwähnten Änderungen an den Messanlagen nicht verzichten wollen. Es gilt aber abzuklären, ob die Einmessung von wenigen ausgewählten Punkten unter Beachtung einer strengen Vorschrift über die Ausführung der Messungen auch weiterhin der beste Weg ist, um bei sparsamem Gebrauch der eingesetzten Mittel ein Maximum an Information zu erzielen. Könnte durch eine flexiblere Aufgabenstellung der Informationsgehalt der geodätischen Messungen erweitert werden? Sollte man vermehrt direkt messbare Grössen gebrauchen? Sollten Anzahl und Verteilung der Punkte neu geordnet werden?

Im folgenden werden die zusammenfassenden Ergebnisse aus Arbeiten erläutert, die der Verfasser in den letzten Jahren im Kanton Graubünden im Auftrag des Ingenieurbüros für bauliche Anlagen der Stadt Zürich, IBA, und des Kantonalen Tiefbauamtes Graubünden ausgeführt hat.

### *4. Weitere Massnahmen*

Die gestellten Aufgaben gliedern sich in zwei Gruppen: Die erste Gruppe betrifft die Einrichtung einer neuen Messanlage mit nur vage bekannten Deformations- und Fixpunktzonen (Sedrun, Klosters).

Bei der zweiten Gruppe handelt es sich um die weitere Ausgestaltung einer schon bestehenden Messanlage, wo der Untergang von versicherten Punkten oder einzelne zweifelhafte Resultate eine Überprüfung der Stations- und Festpunkte erfordern (Natons, Salgina, Landquartbrücke).

Für die Lösung der Aufgaben zeigten sich die Auftraggeber im Rahmen der oben bereits erwähnten, gemeinsam erarbeiteten Forderungen und Fragestellungen mit den Vorschlägen des Verfassers einverstanden. Vier charakteristische Massnahmen seien nun herausgegriffen:

#### *4.1 Die Klassifizierung der Fixpunkte*

*Beispiel Sedrun:* Gesucht waren die Verschiebungen im Bereich von zwei Mulden, zu beiden Seiten einer Felsrippe, innerhalb einer Rutschungszone von rund 3 km Ausdehnung. Zuerst erfolgten lokale Einmessungen, später auch solche vom Gegenhang aus (Bild 2).

*Beispiel Natons:* Zusätzliche Kontrollpunkte in der Form von ausgedehnten Falllinienprofilen ( $l = 400$  m,  $\Delta h = 200$  m) sollten in die bestehende Messanlage eingefügt werden. Lokale Einmessungen waren dort mit normalem Aufwand nicht durchführbar (Bild 1).

Anstatt nun die Gesamtheit der benötigten Fixpunkte auf Grund der vorhandenen Unterlagen, die den neuen Anforderungen nicht genügten, mit viel Aufwand im voraus zu

definieren, erwies es sich als einfacher, keine Annahmen über die Fixpunkte zu treffen, das heisst, Fixpunkte im engeren Sinne (invariante Koordinaten) nicht mehr zu verwenden. Für die Punktversicherung und das Messverfahren wurde jedoch ein gewisser Aufwand nicht gescheut. Jedes Beobachtungsnetz bildete ein in sich geschlossenes System, es war als freies Netz disponiert. Der Massstab war durch kalibrierte Distanzen gegeben. Mehrere gut verteilte Fernpunkte (keineswegs Fixpunkte a priori) wurden polar, das heisst durch Messung von Richtung und Distanz, mitgenommen. Mit den geodätischen Messungen versuchte man zunächst, die markantesten relativen Bewegungen herauszufinden. Kontinuierliche Fehlerabschätzungen während der Berechnungen und die genaue Kenntnis der Geländeform und damit auch der möglichen Verschiebungsvektoren führten rasch zu ersten Ergebnissen. Schon nach der zweiten Wiederholungsmessung konnte man drei Fixpunktkategorien für Punkte mit verschiedenen kleinen Verschiebungsvektoren bilden (der Begriff «Fixpunkt» wird in erweitertem Sinne also beibehalten):

- Eine erste Gruppe von Punkten, die sich weniger als 1 mm/Jahr bewegen.
- Eine zweite Gruppe mit Bewegungen zwischen 1 mm und 3 mm/Jahr.
- Eine dritte Gruppe mit jährlichen Bewegungen zwischen 3 mm/Jahr und einer von Fall zu Fall zu definierenden oberen Grenze.

Die Lage der Fixpunkte im Koordinatensystem ist also bei diesem Vorgehen mit einer Zeitfunktion verknüpft.

Die Zuordnung zu den einzelnen Fixpunktklassen ist zwar nicht endgültig, sie vermittelt aber zutreffende Aussagen lange Zeit bevor man die definitiven Fixpunktzonen kennt. Zum Beispiel fand man in der Rutschungszone vor Sedrun ein 500 m langes Strassenstück, das keine Formänderung aufweist, und während des mehrjährigen Aufbaus der Messanlage Natons am oberen Ende des Stausees Marmorera konnte man mit einer lokalen Fixpunktgruppe versteckt gelegene Kontrollpunkte erfassen, und es gelang, diese Messungen später durch fächerartig angelegte Messungen vom Gegenhang aus mit dem weitläufigen Hauptnetz zu verbinden.

Der Vorteil der Klassifizierung der Fixpunkte liegt in der jederzeit freien Verfügbarkeit über den Umfang und den Netzaufbau der einzelnen Messung (Vollmessung, Teilmessung, Einzelmessung). Erforderlich sind dazu meistens 4 bis 5 gleiche, klassifizierte Punkte, darunter auch Fernpunkte und eine klare Darstellung der Messungen und der Berechnungsergebnisse.

#### 4.2 Datenkontrolle

*Beispiel Gotschna:* Um die Verschiebungsvektoren ( $\Delta y$ ,  $\Delta x$ ,  $\Delta h$ ) von 32 im Wald gelegenen Hangpunkten zu erhalten, werden von fünf Stationen aus periodisch 90 Richtungen, 80 Distanzen und 120 Höhen gemessen. Es sind etwa 1900 Einzelmessungen auszuführen. (1. und 2. Lage, Horizontal und Vertikal, Instrumenten- und Zielhöhe, Sätze, Nivellier-Blick hin und zurück, Barometerstand, Temperatur, Zeit).

*Beispiel Dammpunkte Marmorera:* Die grossen Wiederholungsmessungen auf dem Damm und am Castilettohang finden bei tiefstem Wasserstand alle fünf Jahre jeweils im Frühjahr statt. Innerhalb weniger Tage werden etwa 5000 Einzelmessungen auf der See- und auf der Luftseite des Staudammes ausgeführt.

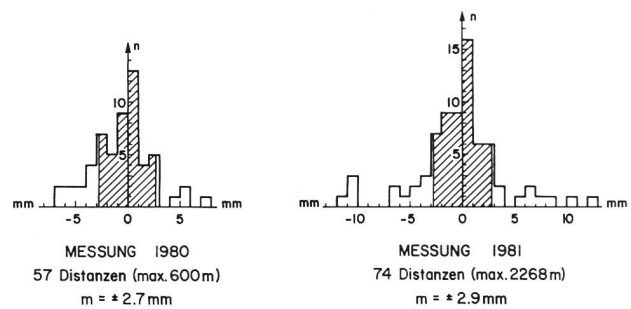


Bild 3. Distanzmessungen mit dem Aga-GDM 14079. Fehlerhäufigkeiten  $n$  bei mehrfach polar aufgenommenen Geländepunkten. Vergleich zwischen den Messungen 1980 (links) und 1981 (rechts). Die dargestellten Fehler enthalten die Restfehler nach der Ausgleichung, die Unsicherheit in der Bestimmung der Refraktionsdaten und der Messfrequenz, die Zentrierfehler und die restlichen Prismenfehler,  $m$  = mittlerer Fehler.

Schon bei kleinen Messanlagen kommt man bald auf eine Zahl von 200 Einzelmessungen. Bei grösseren geodätischen Messanlagen erhöht sich die Zahl der Einzelmessungen rasch auf 10 000 oder noch mehr. Bei der Messanlage Marmorera enthält das Hauptnetz 154 Punkte, was zu 9200 Einzelmessungen führt. Bei Sedrun mit 204 Punkten ergibt es 10 500 Einzelmessungen. Zur Gesamtheit der bei einer Kontrollmessung anfallenden Datenmenge gehören aber auch noch die Resultate und die Zwischenresultate. Bei einer geodätischen Kontrollmessung beginnt man mit der Prüfung der Datenmenge schon lange vor dem Abschluss der Messungen. Wenn möglich werden die Messwerte noch auf der Beobachtungsstation mit bekannten Werten verglichen.

Mit dem Einsatz der Computer sind auch die Methoden der Datenkontrolle im Umbruch begriffen. Auch wenn die Datenmengen durch neuartige Instrumente und Verfahren wesentlich erhöht werden können, lassen sich einige Grundsätze der Datenkontrolle angeben, die sich bei den obenangeführten Beispielen bewährten:

1. *Laufende Kontrolle* auf Instrumentenfehler durch überprüfen von Kollimation, Stehachse, Signalstärke, Einschaltdauer.
2. *Sofortiges Abschätzen* der Differenzen zu früher gemessenen oder vorausgerechneten Werten ergibt Hinweise auf mögliche Verschiebungen oder verborgengebliebene Messfehler. Vorbereitete Listen erleichtern zudem das Auffinden von Waldpunkten, oder sie ermöglichen die Anzielung bei Nacht.
3. *Sorgfältige Protokollführung* am Gerät, auch über scheinbar Nebensächliches, wie Dauer der Messung, Veränderung der Sichtbarkeit.
4. *Im Gehilfenbüchlein* notieren die Gehilfen alle Angaben über die verwendeten Zielzeichen, die Zentrierung, die eingestellten Höhen, die Beschaffenheit der Zielpunkte usw.
5. *Nur bewährte*, zum Teil auch feldarbeitstaugliche *Elektronenrechner und Datenspeicher* von hoher Qualität und ausreichender Kapazität erleichtern das Aufarbeiten der oft in grossen Mengen anfallenden Messwerte. Die Reduktion der Messwerte (Orientierung, Temperatur, Horizont, Luftdruck, Zeit), die statistische Analyse (Bild 3), (Mittlerer Fehler, Fehlerverteilung, Trend) und die Ausgleichsrechnung (Einzelpunktbestimmungen, Trigonometrische Netze, Polygonale Netze, konforme Transformationen) geschieht im Büro am besten mit eigener Software, die möglichst vielen Mitarbeitern vertraut sein soll.
6. Die geprüften und reduzierten *Messwerte werden auf einem Datenträger* gespeichert (dem Verfasser genügt dazu immer noch die MB-Kassette der unverwüthlichen

DIEHL-332 aus dem Jahre 1974). Jeder kontrollierte Wert wird bei den anschliessenden Berechnungen verwendet, auch scheinbare Ausreisser. Sehr oft steckt gerade bei Kontrollmessungen in den verbliebenen Ungereimtheiten der Schlüssel für die Lösung eines sich erst anbahnenden Problems.

7. Auch die Resultate werden gespeichert. Man benötigt sie genauso wie die Messwerte immer wieder bei den Folgemessungen. Eigentlich sind die wenigen mitgeteilten Koordinatenwerte mit der Spitze eines Eisberges vergleichbar. Die Gesamtheit der Daten wäre dann der Eisberg, dessen Ausdehnung sich durch die Datenkontrolle erahnen lässt oder anders ausgedrückt, das Ergebnis eines Ausgleichsverfahrens bei den Kontrollmessungen ist nur ein Teil der Vielfalt der Datenkontrolle.

#### 4.3 Die Auswahl der Instrumente

Heute besteht ein grosses Angebot an verschiedenartigen geodätischen Messinstrumenten, was die Auswahl zu erschweren scheint.

Nun wird man aber kaum, auch nicht bei der Einrichtung einer neuen Messanlage, das Risiko eingehen wollen und nur die neuesten Instrumente allein anwenden. Es könnte sich nämlich zeigen, dass man noch nicht alle Fehler eines neuen Instrumentes kennt. Die als Dokument gedachten Messwerte wären dann zu Vermessungsübungen abgewertet, die höchstens dem Hersteller helfen, Entwicklungskosten zu sparen. Man wird also mit Vorteil die bisher üblichen Messverfahren beachten und einen kontinuierlichen Übergang anstreben. Durch Prüfen und Vergleichen wird man bald zu einer gültigen Beurteilung über den Einsatz neuer Geräte kommen.

Die in den letzten Jahren vorgenommenen Änderungen an den Winkelmessinstrumenten brachten den automatischen Höhenindex, die digitale Ablesung und zuletzt die automatische Datenerfassung. In den letzten 20 Jahren sind die elektronischen Distanzmessgeräte zum unentbehrlichen Hilfsmittel geworden.

Die Leistungsbilanz der Instrumente, die technischen Daten, aber auch die Ausbildung und die Neigungen und Fähigkeiten der Mitarbeiter, die Form der Messanlage und die Art der gestellten Aufgabe zeigen den Weg für die Auswahl der Instrumente.

Bei der Auswahl der Instrumente für die Messanlagen Marmorera, Klosters und Sedrun waren folgende Feststellungen ausschlaggebend:

– Der starke Bewuchs mit Wald und Gebüsch, in Klosters auch mit Gartenziersträuchern sowie weitausladende Ge-

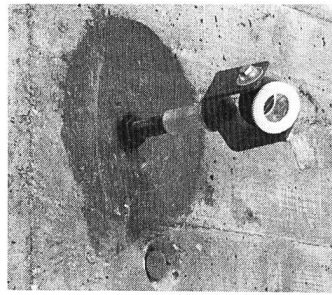


Bild 5. Die Reflektorzielmarke eignet sich für Richtungs- und Distanzmessungen bei Tag und bei Nacht bis etwa 1200 m.

länderücken behinderten die Entwicklung eines geschlossenen, wohlproportionierten Triangulierungsnetzes.

– Schwer begehbare Gelände, Steilabfälle, Blockschutt und ausgedehnte Nässestellen verunmöglichten es, Polygonzüge zu den versteckt gelegenen Kontrollpunkten zu führen.

– Als gute Lösung erwies es sich, eine grössere Anzahl gleichzeitig signalisierter Punkte vom Gegenhang aus mehrfach polar einzumessen. (Diese Konfiguration hat viel Ähnlichkeit mit einer Messanlage zur Kontrolle einer Stau-mauer.)

– Damit man die Fixpunktzone rasch und sicher finden kann, muss auch der grösste Teil der Fernpunkte mit ausreichender Genauigkeit polar eingemessen werden.

Diesen Überlegungen entsprach ein Sekundentheodolit mit aufsteckbarem Distanzmessteil für grössere Entfernungen. Im Frühjahr 1978 wählte der Verfasser die Instrumentenkombination Wild-T2A und Aga-GDM 14 aus, die sich auch heute noch gut bewährt (Bild 4). Durch die starke Strahlenbündelung werden Distanzen bis zu 4 km mit einem einzigen Aga-Prisma erreicht, womit die polare Einmessung der Fernpunkte keine Schwierigkeiten mehr bereitet. Die Optik des Aga-GDM 14 erlaubt es, kleinere Reflektoren für kürzere Distanzen zu verwenden. So verwendet der Verfasser manchmal bis zu 50 Reflektorzielmarken für die gleichzeitige, polare Einmessung von Kontrollpunkten (Bild 5).

Bei der Reflektorzielmarke, deren Aussendurchmesser nur 40 mm beträgt, ist die Zielmarke konzentrisch zum Reflektor angeordnet. Permanent eingebaute Reflektorzielmarken eignen sich gut für einfache und rasch durchführbare Langzeitkontrollen (Bild 6).

Für die Höhenkontrolle – ob diese durch trigonometrische Messungen oder ein Nivellement erfolgt – wird man immer noch ein Libelleninstrument in Reserve halten, denn bei langandauerndem, starkem Wind werden Präzisionsmes-

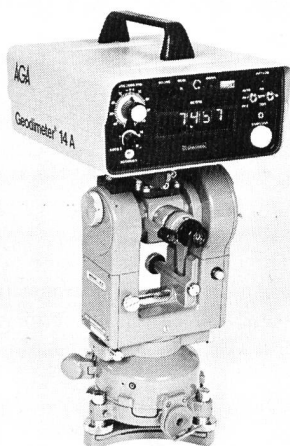
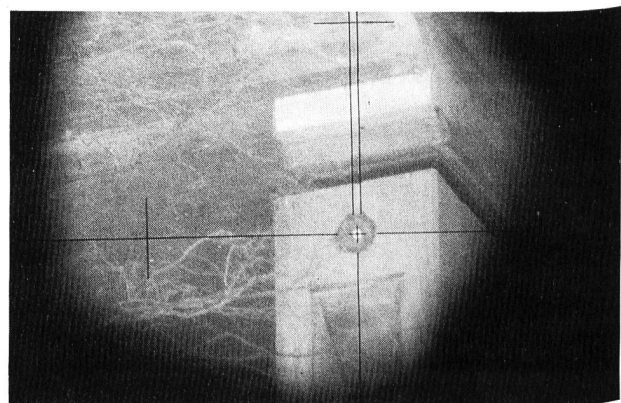


Bild 4. Wild-T2A und Aga-GDM 14.

Bild 6. Anzielung einer permanent eingebauten Reflektorzielmarke für die Kontrolle von Pfeilern und Widerlagern der Ruosna- und Foppa-Brücke bei Sedrun.



sungen mit Kompensatorinstrumenten auf Stativstationen unmöglich.

Für die Messungen im Nahbereich – etwa bis 50 m – sind weitere Geräte zum Beispiel Interferometer, Autokollimatoren, Axikone usw. erhältlich, deren hohe innere Messgenauigkeit – wenige  $\frac{1}{1000}$  mm – bereits einen Übergang zu den physikalischen Messgeräten herstellt. Bei hoher Punktdichte, besonders für Profilaufnahmen ( $m = \pm 1$  cm) von unzugänglichen Fels- oder Mauerflächen könnte man zum Beispiel die Wild-Messkammer P31 (Bild 7) oder die Telemeter der Firmen Breithaupt oder Zeiss verwenden.

Die Instrumente und das umfangreiche Zubehör bedürfen einer ständigen fachkundigen Pflege. Die dabei erworbenen Kenntnisse helfen, die Genauigkeiten der Instrumente optimal auszunützen. Sie helfen aber auch, die gerade aktuellen Neuerungen – heute zum Beispiel die Datenspeicherung und -übertragung – mit Hilfe geeigneter Zusatzgeräte (Oszillograph, Analyzer) miterleben und adaptieren zu können.

#### 4.4 Die Punktverdichtung

Einige Beispiele mögen den Begriff Punktverdichtung näherbringen:

**Beispiel Sedrun:** Die Stabilität eines sich etwa 15 m unterhalb der heutigen Strasse befindenden Geländeabsatzes sollte untersucht werden. Als erstes war dafür ein Präzisionsnivelement im Steilhang auszuführen. Um die Sicherheit der Messungen zu steigern, wurden, obwohl es nicht verlangt war, fünf zufällig ausgewählte, auf Felsbrocken gelegene Umstellpunkte durch Bolzen versichert.

**Beispiel Natons:** Viele Kontrollpunkte liegen dort so tief im Wald, dass es nicht überall möglich war, die für die üblichen Überbestimmungen notwendigen Visuren freilegen zu können. Für jene Punkte, die nur eine einzige Bestimmungsvisur haben, wurden indirekt Zweitvisuren geschaffen: In der Nähe des schwach bestimmbareren Punktes wurde ein zweiter Punkt versichert, der dann von einer anderen Station aus angezielt werden kann.



Bild 7. Ausschnitt aus den Vertikalschnitten beim Gierner Crest (Hohenrätien). Aufnahme mit Wild P 31: Basis etwa 8,5 m und Distanz etwa 45 m. Analytische Auswertung mit Wild BC 1: Äquidistanz der Kurven 25 cm; mittlerer Koordinatenfehler in der Projektionsebene nach äusserer Orientierung auf 9 Passpunkte:  $\pm 6$  mm. Window-Plot ab Tape mit Aviotab Ta 2.

**Beispiel Staudamm Marmorera:** Auf der Luft- und auf der Wasserseite des Damms gibt es zusammen rund 130 Messpunkte, die in die bestehende geodätische Messanlage einbezogen sind. Bei Routinekontrollen fand der Autor in der Übergangszone zwischen dem Dam und dem anschliessenden Fels noch zwei Dutzend gut versicherte alte Punkte, die früher wahrscheinlich während der Bauphase benutzt wurden. Diese in Gruppen eng beieinander liegenden Punkte wurden sofort nach ihrem Auffinden durch Kontrollmasse und Anschlussnivelemente in die neue Messanlage einbezogen.

Aus diesen Beispielen erkennt man, dass die Methode der Punktverdichtung nicht neu ist.

Die Frage, ob es zweckmässig sei, die Punktzahl zu erhöhen, ist sicher dann zu bejahen, wenn ein Erfolg nahe liegt. Die Auftraggeber wünschen in der Regel immer dann weitere Informationen durch zusätzliche Punkte, wenn sich an einem Ort unerwartete Verschiebungen ergeben. Diese zusätzlichen Informationen stehen frühestens nach der ersten Wiederholungsmessung zur Verfügung. Der Zeitraum bis zum Vorliegen der neuen Informationen kann aber gelegentlich unerträglich lang scheinen.

Aus der Erkenntnis heraus, dass es notwendig wäre, von Anfang an wesentlich mehr Punkte zu versichern und auch einzumessen, um die ganz bestimmt einmal auftretenden Fragen nach weiteren Verschiebungsmerkmalen sofort beantworten zu können, lohnt es sich, nach verschiedenen Möglichkeiten zu forschen und über die Lösungen nachzudenken, die sich langfristig ohne Kostensteigerung verwirklichen lassen.

Wie könnte man bei gleichbleibenden Kosten bessere Informationen durch eine massive Erhöhung der Punktzahl erzielen?

im allgemeinen	im Detail
Weniger Stationen	Pfeilerstationen anstatt Stativstationen
Grössere Distanzen mit erhöhter Genauigkeit	Distanzmesser für den mittleren Entfernungsbereich bis 10 km
Kürzere Messdauer durch schnellere Distanzmesser sowie automatische Datenerfassung und -kontrolle	Neue Aga-Modelle mit 10 Sekunden Messdauer statt 50 Sekunden wie bisher Aga-Geodat 122, Kern-DIF 41 und Wild-GRE 2
Vereinfachte, jedoch genaue Zentrierung und Signalisierung bei zugänglichen Punkten. Permanente Reflektorzielzeichen bei unzugänglichen Punkten.	Anordnung mehrerer Zielzeichen in der Form von Profillinien oder Punktgruppen anstelle von isoliert gelegenen Einzelpunkten. Zusammensetzen mehrerer Reflektoren als Raumzielmarke für gleichzeitiges Anzielen aus mehreren Richtungen.

Eine sehr grosse Punktmenge kann man kostensparend durch planmässiges Alternieren des Umfanges der Messungen erfassen (Stichprobenmethode), zum Beispiel:

- Gebietsweise Aufteilung einer Vollmessung in verschiedene, reduzierte Messungen.
- Bildung von Punktgruppen, zum Beispiel in Abhängigkeit von der Hanglage, der Versicherungsart, der Jahreszeit, der Numerierung.
- Der Aufwand lässt sich auch durch geeignete Auswahl der Messungsgrößen (Einflussgrößen) vermindern, indem man zum Beispiel an einem Ort nur die Höhen, an einem anderen nur die Distanzen kontrolliert.
- In manchen Fällen genügt es, wenn man nur direkt beobachtete Messwerte miteinander vergleicht!

Die grossen Messanlagen von Marmorera, Klosters und Sedrun, von denen eine jede mehrere hundert Kontrollpunkte umfasst, werden nach den oben geschilderten Verfahren sukzessive erweitert und gemessen. Weitausgedehnte Triangulierungsnetze und die darin eingestreuten, dicht belegten Punktgruppen bilden ein homogenes System, das mit jeder Messung an Zuverlässigkeit gewinnt.

### 5. Ausblick

Man kann heute nicht voraussagen, wie man in 20 oder in 50 Jahren eine neue Messanlage optimal einrichten wird, denn die Mess- und Rechentechnik befinden sich gegenwärtig in einer bemerkenswerten Entwicklungsphase. Auf jeden Fall wird auch eine enorme Zunahme des Datenmaterials kaum Schwierigkeiten bei der Auswertung bereiten, vielleicht sogar den Zusammenschluss der geodätischen mit den photogrammetrischen und physikalischen Messungen erleichtern. Der Nutzen einer Messanlage wird weiterhin von der Güte und Dauerhaftigkeit der Punktversicherungen abhängen. Vorteilhaft erweisen sich Nahversicherungen (Rückversicherungen) im Bereich bis zu 10 m, wenn sie untereinander auf einfache Art, jedoch mit sehr hoher Genauigkeit verbunden werden können. Zu den in Punktgruppen zusammengefassten Nahversicherungen würden dann auch die direkt angeschlossenen physikalischen Messeinrichtungen, wie zum Beispiel Lote, Neigungsindikatoren, Bohrlochsonden, Dehnungsmessgeber u. ä., zu zählen sein.

Die Aufgabe der geodätischen Messungen ist es, eine genau definierte räumliche Verbindung zwischen den verschiedenen Kontrollpunkten oder Punktgruppen zu gewährleisten. Dabei sollen zur Bewahrung der inneren Genauigkeit des Systems alle Möglichkeiten, welche die neuen Messinstrumente bieten, ausgenutzt werden. Das Verfahren, die Fixpunkte zu klassifizieren, erleichtert diese Aufgabe.

Die Genauigkeitsgrenze, an die man bei diesen Überlegungen stösst, ist bekannt. Das Auflösungsvermögen der jeweils benutzten Trägerwelle kann nie zur Erzielung genauer Resultate überschritten werden. Die Genauigkeit der Distanzmessung könnte zwar noch gesteigert werden (X-Band Lichtmodulation), bringt aber heute, wie auch der Verfasser erfahren musste, noch nicht den üblichen Messkomfort. Bei der Verwendung der üblichen IR-Verfahren kann der heute schon beachtliche Messkomfort allerdings noch weiter gesteigert werden, wie die ersten bereits erhältlichen «Totalstationen» erwarten lassen: Es liegt durchaus im Bereich des Möglichen, dass eine solche automatische Station selbständig Winkel und Distanzen misst, reduziert und registriert.

Der Verfasser dankt beiden Oberingenieuren, G. Peter, Ingenieurbüro für bauliche Anlagen der Stadt Zürich, IBA, und K. Suter, Kant. Tiefbauamt Graubünden, für die wertvollen Anregungen bei der Durchführung der beschriebenen Arbeiten.

Adresse des Verfassers: Johann Krötzi, Dipl.-Ing., Ingenieurvermessungen, Loestrasse 45, 7000 Chur.

## Entleerungsvorgänge in Druckleitungen

Willi H. Hager

### Zusammenfassung

Aufgrund hydraulischer Beziehungen wird der Entleerungsvorgang in Druckleitungen unter Einbezug der Massenträgheit, der Rohrreibung und der Abflussdynamik beschrieben. Anhand zweier wichtiger Spezialfälle wird der Vorgang eingehend studiert, um anschliessend die allgemeine Lösungsmethode ist anhand von Beispielen erläutert, und die Resultate sind durch Feldversuche überprüft.

### Summary

Emptying processes in pressure lines are investigated by considering the effects of inertia, wall friction and flow dynamics. The general solution is presented graphically and two special cases are dealt with extensively. The method of computation is explained by examples and the results are compared with experiments in situ.

### Einleitung

Instationäre Abflussuntersuchungen in Rohrleitungen sind meistens dem Wasserschloss-Problem gewidmet. Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit einer – immerhin aufgrund der Ausgangsgleichungen – analogen Aufgabe bezüglich der Entleerung von Rohrleitungen. Im Zusammenhang mit dem Betrieb von Pumpanlagen beispielsweise interessiert nicht nur der stationäre Abflussprozess, sondern gleichzeitig auch Anfahr- und Bremsvorgänge. Im folgenden betrachten wir eine Rohrleitung konstanten Durchmessers mit beliebigem, konstantem Sohlengefälle. Zu einem vorgegebenen Zeitpunkt wird die ruhende Flüssigkeit im Rohr durch partielles oder vollständiges Öffnen des Abschlussorgans in Bewegung gesetzt. Es stellt sich dann die Frage nach der Entleerungscharakteristik im allgemeinen und nach der Entleerungszeit im speziellen. Diese hängt offensichtlich von der Anfangsfüllung, der Rohr- und Ausflussgeometrie ab. Die nachfolgenden Berechnungen beziehen sich dabei auf Leitungen, in denen oberhalb des freien Wasserspiegels atmosphärischer Druck herrscht. Die Resultate der Berechnungen sind diagrammhaft festgehalten und ermöglichen in dieser Form die direkte Anwendung.

### Die Bewegungsgleichung

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich auf ein kreisförmiges Druckrohr nach Bild 1 mit konstanter Querschnittsfläche  $F$ , Rauigkeit  $k$  und Neigung  $\varepsilon$ . Unter den Voraussetzungen

- eindimensionaler Strömung,
- hydrostatischer Druckverteilung,
- atmosphärischen Drucks oberhalb des freien Wasserspiegels im Rohr und im Ausflussquerschnitt,
- starrer Rohrwandung und inkompressibler, homogener Flüssigkeit

gilt für die Energiehöhe  $H$  an einem beliebigen Punkt  $s$  des Rohres nach [1]

$$H = z + p/(\rho g) + v^2/(2g) + \frac{1}{g} \int_L \frac{\partial v}{\partial t} ds \quad (1)$$

mit  $z$  als vertikalem Abstand der Rohrachse von einem beliebigen Niveau,  $\rho$  als Dichte des Mediums,  $g$  als Gravita-