

Paper-ID: VGI_198844



Deformationsmessungen und Deformationsanalyse

Akos Detreköi ¹

¹ *Lehrstuhl für Photogrammetrie der Technischen Universität Budapest*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **76** (3), S. 330–341

1988

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Detrekoei_VGI_198844,  
  Title = {Deformationsmessungen und Deformationsanalyse},  
  Author = {Detrek{o}i, Akos},  
  Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen und  
    Photogrammetrie},  
  Pages = {330--341},  
  Number = {3},  
  Year = {1988},  
  Volume = {76}  
}
```



Deformationsmessungen und Deformationsanalyse

Von *Ákos Detreköi*, Budapest

1. Einleitung

Das Motto des 3. Österreichischen Geodätentages lautet: „Ingenieurvermessung – Dokumentation der Umwelt“. Unsere Umwelt ist in ständiger Veränderung. Eine Art der Dokumentation dieser Änderungen ist die Durchführung von Deformationsmessungen.

Die Deformationsmessungen gehören zum klassischen Bereich der Ingenieurvermessungen. Senkungen von Bergbaugebieten, Rutschungen, Deformationen von Brücken und Talsperren wurden schon im vorigen Jahrhundert gemessen. In der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts wurden die Deformationsmessungen für neuere Zwecke angewandt. Spezielle Baukonstruktionen (z. B. hohe Fernsehtürme), neue und für die Umgebung gefährliche Anlagen (z. B. Kernkraftwerke) stellen die Deformationsmessungen vor neue Aufgaben. Deformationsmeßmethoden wurden bei der Herstellung von Flugzeugen und Öltankern angewandt. Die kontinuierliche Positionsbestimmung von Robotern läßt sich nach diesen Methoden durchführen. Die genannten Beispiele zeigen die große praktische Bedeutung von Deformationsmessungen.

Die Lösung der neuen Aufgaben, die Erfüllung der hohen Genauigkeitsanforderungen, die erfolgreiche Verarbeitung von Meßergebnissen sind ohne regelmäßige Forschung unmöglich. So ist es selbstverständlich, daß die Anzahl der Publikationen über Deformationsmessungen sehr hoch ist. In diesem Vortrag möchte ich mich mit einigen generellen Problemen der Deformationsmessungen und mit der Verarbeitung der Ergebnisse dieser Messungen beschäftigen.

2. Das Ziel und das mathematische Modell der Deformationsmessungen

In der Fachliteratur wird der Ausdruck „Deformationsmessung“ ganz allgemein benutzt. „Deformation“ ist eigentlich ein Begriff aus der Physik.

Es ist bekannt, daß sich die Punkte eines Festkörpers unter Kraftwirkungen im Raum verschieben. Die Vektoren in Bild 1 charakterisieren die Verschiebungen einiger herausgegriffener Punkte eines Körpers. Wird der Festkörper als starr betrachtet, so haben die Verschiebungen keine Abstandsänderungen zwischen einzelnen Punkten zur Folge. Starrkörperverschiebungen bestehen aus einer Translation und/oder Rotation des Körpers.

Wird ein nichtstarrer Körper durch geeignete Auflagerung festgehalten, so können mit Abstandsänderungen Verschiebungen auftreten. Als Maß für die Verformung dienen die Deformationen oder die Verzerrungen, die durch Vergleich von Abständen und Winkeln vor und nach der Verformung ermittelt werden. Bild 2 zeigt die ebene Deformation eines rechteckigen Elements eines Körpers.

Verschiedene Körper können kontinuierlich unter Kraftwirkung stehen. In diesem Fall laufen die herausgegriffenen Punkte auf einer Bahn, wie das in Bild 3 gezeigt wird. Zweck der Deformationsmessungen ist ganz allgemein die Kenngrößen der Bewegungen und Deformationen verschiedener Objekte zu bestimmen.

Die Bewegungen von Objekten und auch die Messung dieser Bewegungen sind komplizierte physikalische Prozesse. Bei konkreten Objekten muß dieser Prozeß in einer brauchbaren Form mathematisch beschrieben werden. Um diese Aufgabe zu lösen, wird ein mathematisches Modell angenommen. Das Modell soll die physikalischen, geometrischen und stochastischen Eigenschaften des Prozesses relativ gut widerspiegeln.

Zur Aufstellung eines Modells sind verschiedene Annahmen erforderlich. Bei Deformationsmessungen werden folgende Annahmen sehr oft benutzt:

1. Das Objekt (der Körper) wird durch ausgewählte – und gut markierte – Punkte ersetzt (Bild 4). Wir nehmen an, daß die Bewegungen des Objekts aus den Bewegungen dieser

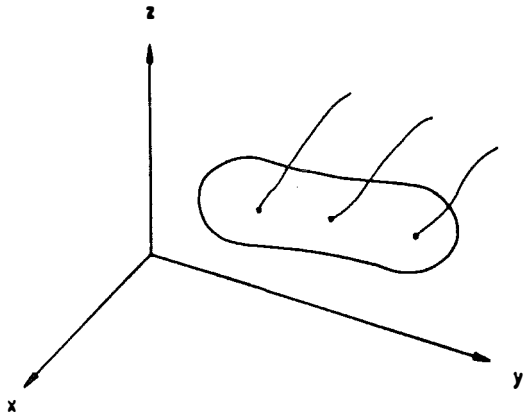


Bild 1

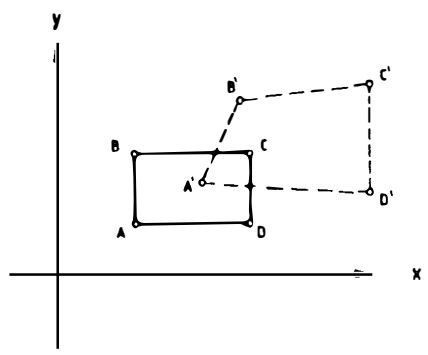


Bild 2.

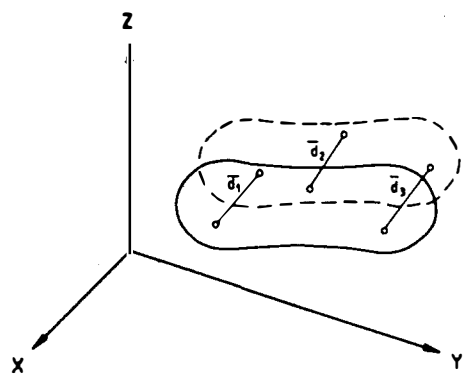
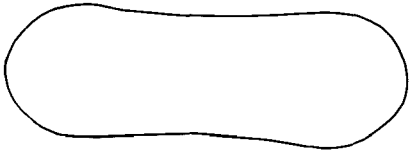


Bild 3

Objekt



Punkte

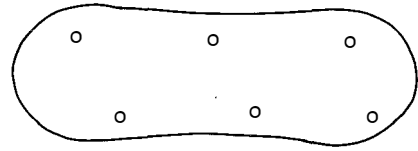
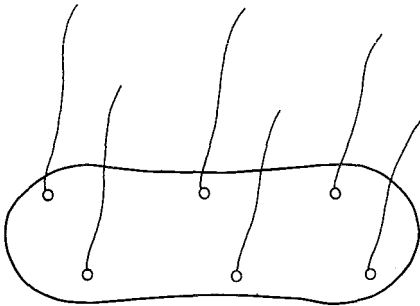


Bild 4

Bahn



Bahnpunkte

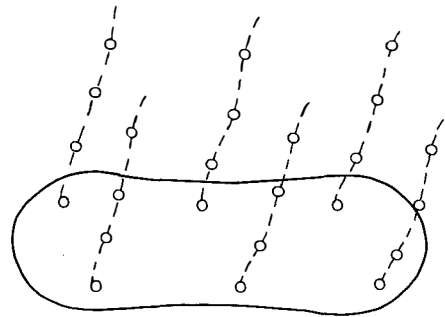
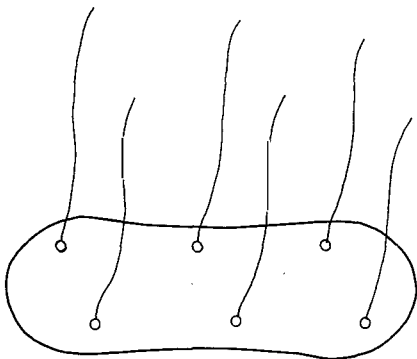


Bild 5

Raumkurve



Vertikale Gerade

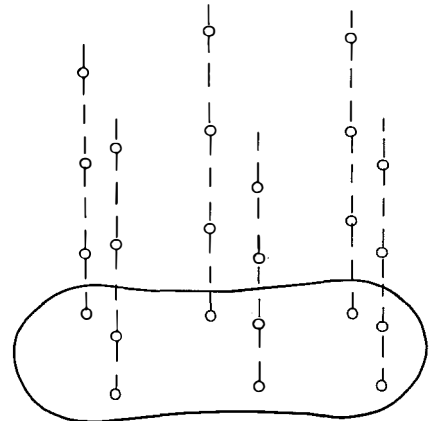


Bild 6

Objektpunkte eindeutig bestimmt werden können. Für die Bestimmung von Anzahl und Lage der Punkte sind gewisse vorherige Kenntnisse bezüglich der Bewegungen, der Deformationen und physikalischen Eigenschaften des Objekts notwendig. Es ist eine allgemeingültige Anforderung, Punkte an den Orten der maximalen und minimalen Bewegungen zu wählen. Im Falle deformierbarer Objekte sind mehr Punkte erforderlich als bei starren. Wegen der möglichen Punktzerstörung ist es zweckmäßig, daß die Anzahl der ausgewählten Objektpunkte größer ist als unbedingt notwendig. Die Bestimmung der Lage der Punkte kann auch als Allokationsproblem formuliert werden. In diesem Fall — bei gegebener Anzahl der Punkte — kann auch eine optimale Lösung gefunden werden.

2. Die Bahn der ausgewählten Objektpunkte wird nur in einzelnen konkreten Zeitpunkten bestimmt, also die Bahn durch Bahnpunkte ersetzt (Bild 5). Die Zeitpunkte von Messungen werden Meßepochen genannt. Zur Bestimmung von Meßepochen sind auch gewisse a-priori-Informationen über die Bewegung notwendig. Bei langsamen Bewegungen sind weniger häufige Messungen erforderlich als bei raschen Bewegungen. Bei langsamen Bewegungen darf angenommen werden, daß die Messungen der verschiedenen Objektpunkte im selben Moment durchgeführt werden. Bei schnellen Bewegungen (z. B. bei Vibrationen von Objekten) soll sehr oft gemessen werden. Sehr oft durchgeführte Messungen werden in der Fachliteratur auch als kontinuierliche Messungen bezeichnet.

3. Die Bewegungen der Objektpunkte werden von solchen Festpunkten aus bestimmt, die unbeweglich sind. Durch die Festpunkte wird das Koordinatensystem bestimmt, in dem die Bewegung beschrieben werden soll. Die Bestimmung von Anzahl und Lage der Festpunkte ist sehr oft der schwierigste Teil der Deformationsmessungen.

4. Bei speziellen Aufgaben ist die Annahme möglich, daß in gewissen Richtungen keine Bewegung vorkommt. In dieser Annahme kann die im allgemeinen durch eine Raumkurve charakterisierte Bahn eines Objektpunktes durch eine ebene Kurve oder durch eine Gerade ersetzt werden (Bild 6). Ein oft vorkommender Fall dieser Annahme ist die Setzungsmessung verschiedener Objekte.

Die Bahn eines Objektpunktes kann als Zeitfunktion oder als Kräftefunktion angegeben werden. Im ersten Fall sollen die Zeitpunkte der einzelnen Messungen bestimmt werden. Im zweiten Falle wird die Kraft, oder eine der Kraft proportionale Größe gemessen. Die Kraft wird z. B. bei Belastungsproben von Brücken bestimmt. Der Kraft proportionale Größen werden z. B. gemessen, wenn Temperaturänderungen bestimmt werden, bei Objekten, wo die Deformation als Folge von Temperaturänderungen auftritt.

Die Annahme eines treuen mathematischen Modells ist für die gute und erfolgreiche Durchführung von Deformationsmessungen sehr wichtig. Ohne mathematisches Modell ist eine sorgfältige Planung der Messung nicht möglich. Das Modell bildet auch die Grundlage für die Interpretation der Analyse von Meßergebnissen.

3. Deformationsmeßverfahren

Bei der Beschreibung des mathematischen Modells wurde das Objekt durch ausgewählte Punkte ersetzt. Bei der Durchführung von Deformationsmessungen haben wir zwei Möglichkeiten:

1. Von unbeweglichen Festpunkten aus wird die Lage der Objektpunkte in den verschiedenen Meßepochen bestimmt. Die Lage der Objektpunkte wird durch Koordinaten charakterisiert. Aus diesen Koordinaten können die Komponenten von Translation, Rotation und Deformation des Objekts abgeleitet werden (Bild 7). Aus den Koordinaten kann auch die Bahn von Objektpunkten bestimmt werden.

2. In den Objektpunkten — oder zwischen den Objektpunkten — werden die Komponenten von Translationen, Rotationen oder Deformationen direkt gemessen. Normalerweise können nur eine oder nur einige Komponenten gemessen werden (Bild 8).

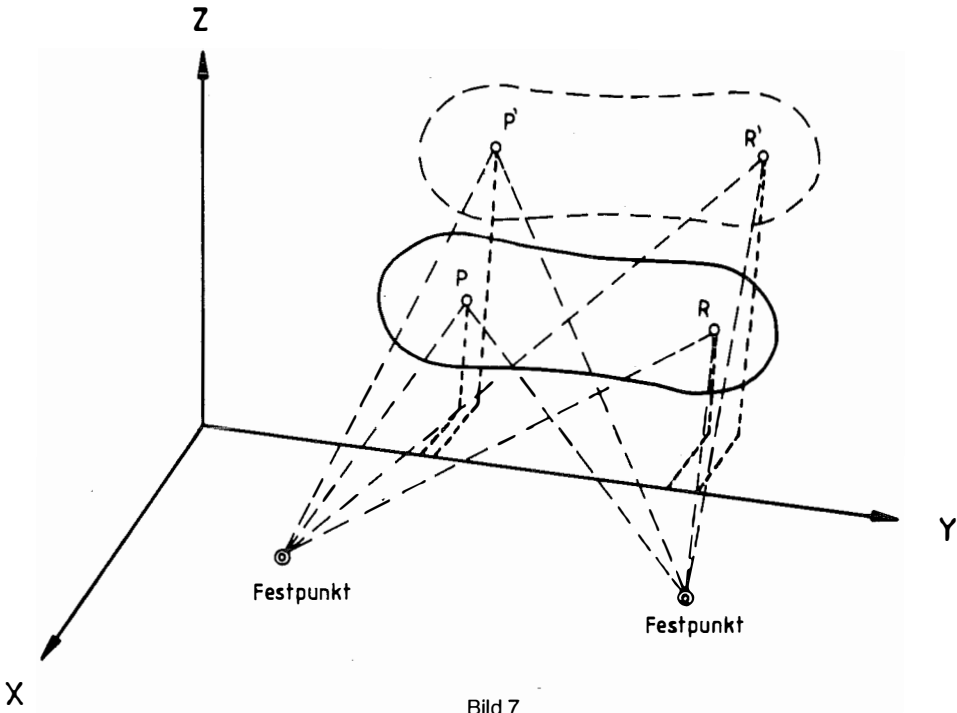


Bild 7

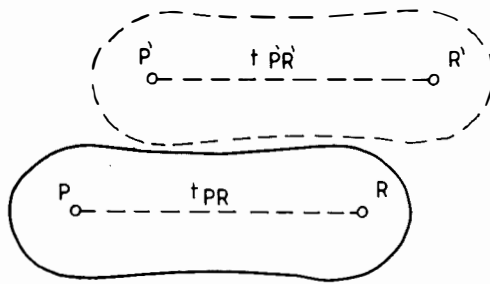


Bild 8

Für die Bestimmung von Koordinaten der Objektpunkte können verschiedene Methoden angewandt werden.

a) Geodätische und photogrammetrische Methoden

aa) Die Anwendung von geodätischen Methoden ist schon seit mehreren Jahrzehnten bekannt. In den letzten zwei Jahrzehnten ergaben elektronische Distanzmessungen (EDM) höchster Genauigkeit neue Möglichkeiten. Die geodätischen Meßverfahren sind von sehr hoher Genauigkeit. Der Zeitaufwand für diese Verfahren ist aber relativ groß, so können wegen der 2. Annahme bei mathematischen Modellen diese Verfahren nur im Falle langsamer Bewegungen angewandt werden. In der letzten Zeit erschienen einige Publikationen über die Anwendung von Methoden der Satellitengeodäsie in Deformationsmessungen. Die ersten GPS-Experimente für Deformationsmessungen liefern auch gut anwendbare Resultate.

ab) Die Anwendung von photogrammetrischen Methoden bei Deformationsmessungen hat auch eine lange Tradition. Die Photogrammetrie hat zwei große Vorteile:

– Der Zeitaufwand für Belichtung ist relativ gering.

– Bei der Anwendung der Photogrammetrie muß das Objekt nicht berührt werden.

Jahrzehntelang wurde nur die terrestrische Photogrammetrie für Deformationsmessungen angewandt. Mit der wachsenden Genauigkeit der Aerotriangulation wird immer öfter die Luftbildphotogrammetrie auch für diese Zwecke benutzt. Von großem Interesse sind Experimente, wo terrestrische Bilder und Luftbilder zusammen verarbeitet sind. In der Zukunft werden höchstwahrscheinlich die – zur Zeit meistens nur in der Robotertechnik angewandten – real-time photogrammetrischen Verfahren auch für andere Deformationsmessungen benutzt werden. Ganz spezielle Anwendungen der Photogrammetrie stellen Verfahren dar, wo die relativ schnellen Bewegungen von Schnellfilmaufnahmen bestimmt wurden.

b) Kontinuierliche Meßverfahren

Bei der zweiten Möglichkeit der Deformationsmessungen werden die einzelnen Komponenten der Translation, Rotation und Deformationen direkt gemessen. Die Instrumente und Verfahren, die für diese Zwecke entwickelt wurden, sind als physikalische Instrumente oder als kontinuierliche Meßverfahren bekannt. Diese Verfahren ergeben immer „relative“ Größen. Nach diesen Verfahren können Entfernungsänderungen und Winkeländerungen direkt gemessen werden. Elektronische Libellen, Inklinometer, induktive Sender sind typische Beispiele dieser Instrumente. Ein großer Vorteil dieser Instrumente ist die gute Möglichkeit der Automatisierung der Messungen. Diese Instrumente sind auch für Messungen schneller Bewegungen sehr gut geeignet.

4. Verarbeitung der Ergebnisse von Deformationsmessungen

Zweck der Verarbeitung der Ergebnisse von Deformationsmessungen ist, die Kenngrößen der Bewegungen des Objekts zu bestimmen. Die Art der Verarbeitung ist abhängig von der Art der Messungen.

Zuerst werden wir uns mit der ersten Art der Messungen beschäftigen, also mit dem Fall, wenn in den Meßepochen t_1, t_2, \dots, t_n die Koordinaten der Objektpunkte bestimmt werden sollen. In diesem Falle erfolgt die Verarbeitung in folgenden Schritten:

a) Bestimmung der Koordinaten und der Genauigkeitsmaße

b) Entscheidung über Bewegungen der Festpunkte und Objektpunkte

c) Bestimmung von Kenngrößen bzw. von Funktionen, die die Bewegung des Objekts charakterisieren.

ad a) Bei der Bestimmung der Koordinaten und der Genauigkeitsmaße können die üblichen Methoden der Koordinatenbestimmung der Geodäsie oder der Photogrammetrie angewandt werden. Diese Aufgabe ist verhältnismäßig einfach, wenn neben dem untersuchten Objekt unbewegliche Festpunkte vorhanden sind. In diesem Falle ist es theoretisch möglich, die Meßergebnisse der verschiedenen Meßepochen unabhängig voneinander zu ver-

arbeiten. Im Besitz überschüssiger Messungen wird die Berechnung der Koordinaten mit einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt. In diesem Falle erhält man auch die Genauigkeitsmaße aus der Ausgleichung. Sind keine überschüssigen Messungen vorhanden, dann ist die Bestimmung der Genauigkeitsmaße komplizierter. In einigen Fällen können die Informationen über Bewegungen des Objekts — statt überschüssiger Messungen — benutzt werden. Es wurden schon Genauigkeitsmaße aus wiederholten Messungen an unbeweglichen Punkten eines Objekts bestimmt (Bild 9). Es ist auch möglich, Genauigkeitsmaße aus Translationsunterschieden von Punkten, die zu einer Achse symmetrisch liegen, zu berechnen.

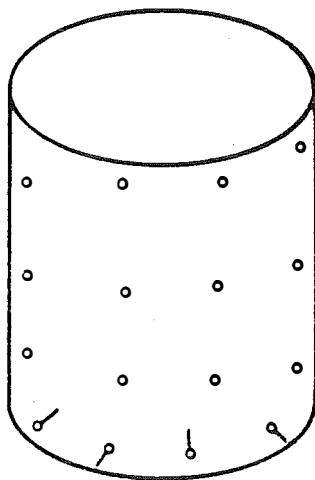


Bild 9

ad b) Sind die Koordinaten der Objektpunkte schon bekannt, kann entschieden werden, ob sich einzelne Objektpunkte bewegen.

Wenn die Koordinatenunterschiede derselben Punkte zwischen zwei Meßepochen relativ groß sind, dann ist die Entscheidung einfach. Nehmen wir z. B. an, daß die Koordinaten eines Punktes mit einem mittleren Fehler von $m = \pm 5 \text{ mm}$ bestimmt werden können. Wenn die Koordinatenunterschiede bei diesem Punkt zwischen zwei Meßepochen $\Delta = 32 \text{ mm}$ erreichen, darf der Punkt ohne weiteres als beweglich betrachtet werden. Die Entscheidung ist bei kleineren Koordinatenunterschieden, z. B. von $\Delta = 7 \text{ mm}$, viel schwieriger. Für diese Art von Entscheidungen werden seit Anfang der 70er Jahre mathematisch-statistische Tests benutzt. In der Fachliteratur wird von Tests verschiedener Art berichtet. Nach diesem Testverfahren wird auch die Annahme der Unbeweglichkeit der Festpunkte überprüft. Mit Hilfe mathematisch-statistischer Tests können die einzelnen Koordinatenunterschiede von Objekt- oder Festpunkten zwischen zwei Meßepochen überprüft werden. Es ist auch möglich, mehrere oder alle Koordinatenunterschiede zwischen zwei Meßepochen zu testen. Das ist der sogenannte Globaltest. Sind in mehreren Meßepochen die Messungen durchgeführt worden, kann die Geschwindigkeit der einzelnen Punkte mit mathematisch-statistischem Test geprüft werden. An der TU Budapest haben wir schon Erfahrungen von 20 Jahren mit der Anwendung von Testverfahren. Diese Verfahren sind sehr nützlich. Meiner Meinung nach müssen aber die Ergebnisse der mathematisch-statistischen Tests stets mit anderen Informationen über die Bewegung verglichen werden.

ad c) Nach der Entscheidung über das Existieren einer Bewegung können die Kenngrößen der Bewegung bestimmt werden. Nehmen wir an, daß die Deformationsmessungen in den Meßepochen t_1, t_2, \dots, t_n durchgeführt wurden. Anhand der zu den verschiedenen Meßepochen gehörenden Koordinaten können z. B. folgende Kenngrößen bestimmt werden:

- die Verschiebungen der einzelnen Punkte zwischen zwei Meßepochen
- die Rotationskomponenten des Objekts zwischen zwei Meßepochen
- die Deformationselemente des Objekts zwischen zwei Meßepochen
- die Änderung einer Linie oder eine Fläche zwischen zwei Meßepochen
- die Bahnen der einzelnen Punkte aufgrund der Ergebnisse mehrerer Meßepochen
- die Deformationskomponenten aus Ergebnissen mehrerer Meßepochen.

Bei den meisten konkreten Aufgaben genügt es, die Verschiebungen der einzelnen Punkte zu bestimmen. Die Verschiebungen charakterisieren die Translation des Objekts. Hätten wir n Meßepochen, dann könnten wir die Verschiebungen der Objektpunkte zwischen folgenden Meßepochen bestimmen:

$$\begin{array}{cccc}
 t_n - t_1, & t_n - t_2, & \dots, & t_n - t_{n-1} \\
 t_{n-1} - t_1, & t_{n-1} - t_2, & \dots, & t_{n-1} - t_{n-2} \\
 \dots & & & \\
 t_2 - t_1 & & &
 \end{array}$$

Normalerweise werden die Verschiebungen nur im Vergleich zu den ersten und zu den vorletzten Meßepochen bestimmt. Wenn die Messungen in der n -ten Epoche durchgeführt wurden, dann erhält man die Verschiebungen für die Zeitintervalle $t_n - t_1$ und $t_n - t_{n-1}$. Zu dem Zeitintervall $t_n - t_1$ gehörende Verschiebungen charakterisieren die ganze Translation des Objekts, zu dem Zeitintervall $t_n - t_{n-1}$ gehörende Verschiebungen geben über die momentane Geschwindigkeit Informationen.

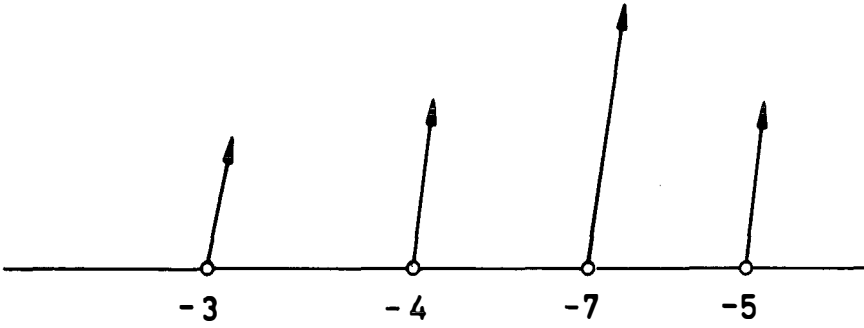
Die Verschiebungsvektoren werden sehr oft auch graphisch dargestellt. Die graphische Darstellung ist mit Hilfe des horizontalen Verschiebungsvektors und eines Höhenunterschieds (Bild 10) oder mit Hilfe einer axonometrischen Darstellung möglich (Bild 11).

Die Rotationskomponente des Objekts zwischen zwei Meßepochen läßt sich mit Hilfe von zu den zwei Meßepochen gehörenden Koordinaten bestimmen. Es ist zweckmäßig, die Rotationselemente von Punkten zu bestimmen, die voneinander verhältnismäßig weit entfernt liegen. In der Ebene XY können die Rotationselemente – also die Rotation um die Z-Achse – aus den Richtungswinkeländerungen bestimmt werden (Bild 12).

Die Deformationen sind eigentlich Abstandsänderungen und Winkeländerungen. Es ist zweckmäßig, die Deformationskomponenten zwischen Nachbarpunkten zu bestimmen. Die Deformationskomponenten werden sehr oft – auf Grund von geodätischen oder photogrammetrischen Messungen – von Bauingenieuren oder von anderen Fachkräften bestimmt.

Die Bestimmung der Änderungen von Linien oder Flächen kann anhand der Verschiebungen von in den Linien oder Flächen liegenden Punkten durchgeführt werden. Das Problem wird durch Funktionsbestimmung oder durch graphische Darstellung gelöst. Bei der Funktionsbestimmung ist es sehr vorteilhaft, wenn der Charakter der Funktion von dem mathematischen Modell her – durch statische, geotechnische Kenntnisse – schon bekannt ist. Es ist üblich, die Flächenänderungen durch Isolinien zu charakterisieren. In Bild 13 wurden die Senkungen des Objekts durch Isolinien dargestellt.

Die Bestimmung der Bahn eines Punktes aus den Ergebnissen mehrerer Meßepochen ist auch eine Funktionsbestimmung. Diese Funktion kann eine Zeitfunktion oder eine Kräftefunktion sein. Eine große Schwierigkeit besteht darin, daß der Charakter dieser Funktion sehr selten bekannt ist. Wenn der Charakter der Funktion nicht bekannt ist, können relativ einfache Funktionen, z. B. Geraden bestimmt werden. Wenn die Funktionen der Bahnen von Objektpunkten bekannt sind, können die Geschwindigkeiten von Objektpunkten bestimmt werden. Die Kenntnis von Bahnfunktionen bildet die Grundlage für die Vorhersage der Bewegungen.



Maßstab
 Grundriß 1:5000
 Vektoren 1:2

Bild 10

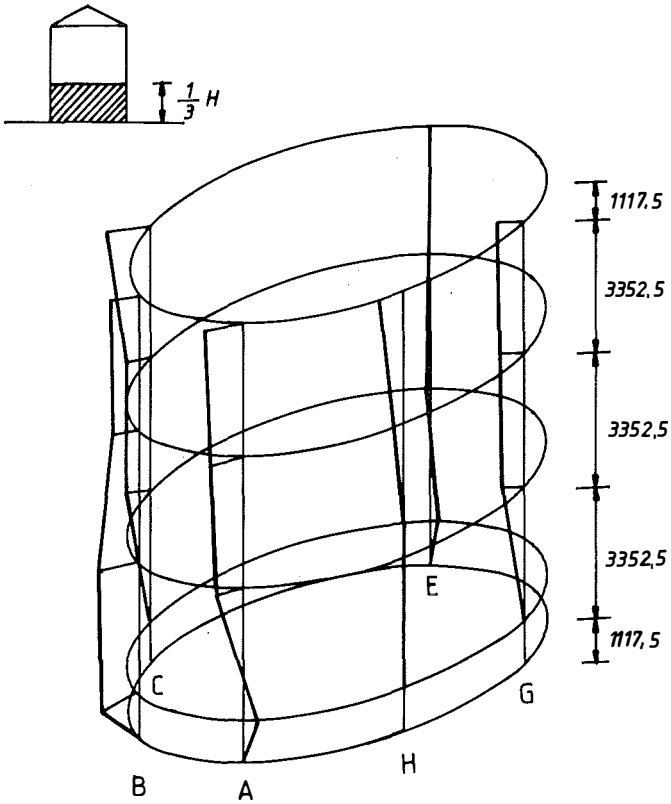


Bild 11

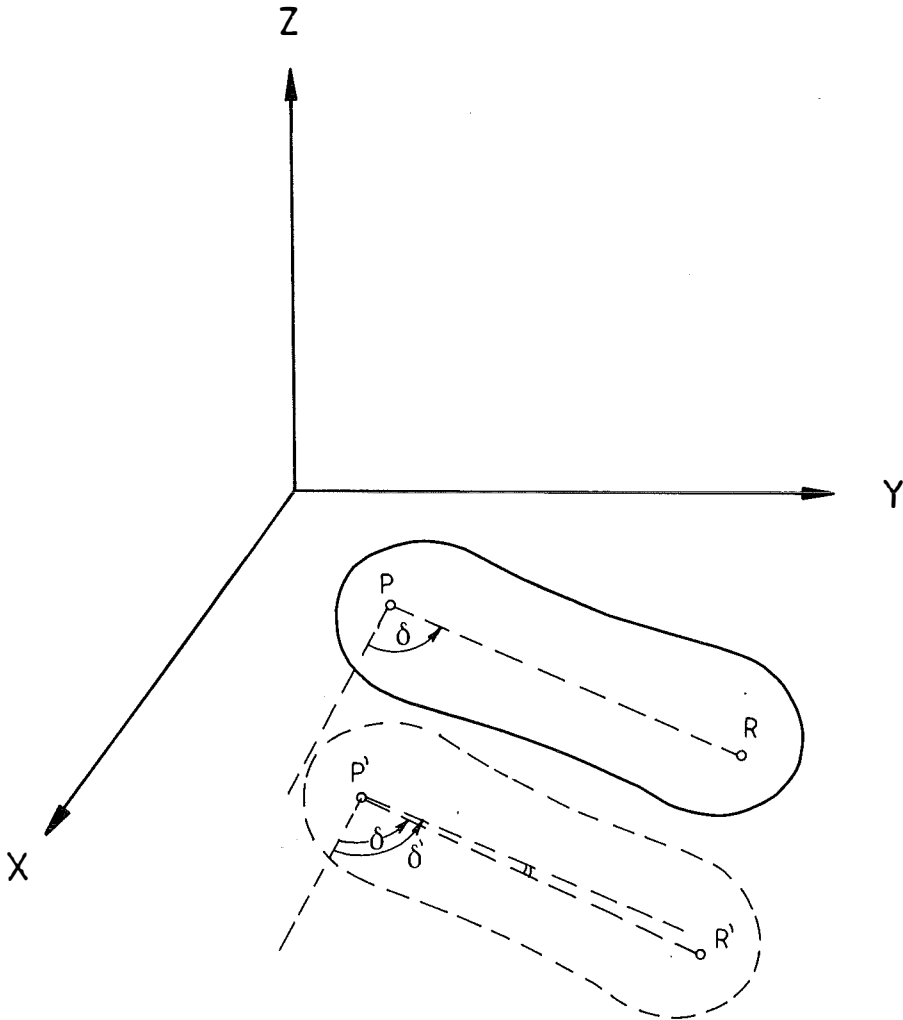


Bild 12

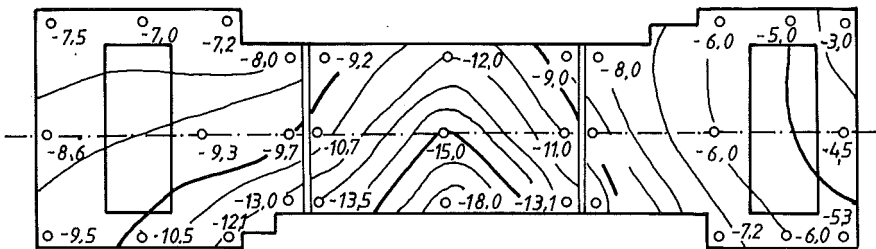


Bild 13

Im zweiten Falle der Messungen, also wenn die Deformationselemente direkt gemessen werden, ist die Verarbeitung der Meßergebnisse eigentlich verhältnismäßig einfach. Diese Ergebnisse werden registriert und es wird höchstens eine zu den Meßergebnissen passende Funktion bestimmt. Die Verarbeitung von sogenannten kontinuierlichen Messungen ist eine spezielle Aufgabe. In diesem Falle werden verschiedene Größen — praktisch voneinander unabhängig — sehr oft gemessen. Die einzelnen Meßreihen werden auch voneinander unabhängig verarbeitet. Die meistens angewandten Verfahren sind die Verarbeitung, die Filterung der Ergebnisse. Eine Art der Filterung ist die Faltung. Bei der Faltung wird die eigentlich gemessene x-Meßreihe durch eine Gewichtsfunktion p in eine gefilterte y-Reihe überführt.

$$y_i = \sum_{j=-m}^m p_j x_{i+j}$$

Die Art der Gewichtsfunktion wird vom mathematischen Modell abgeleitet, oder vorherigen Erfahrungen gemäß bestimmt. In Bild 14 wird eine mit einer dreieckförmigen Gewichtsfunktion gefilterte Meßreihe gezeigt. die Meßergebnisse stammen aus einer dynamischen Belastungsprobe einer Theißbrücke. Die Messung wurde mit Hilfe eines Laserinstruments und einer Filmaufnahmekamera durchgeführt.

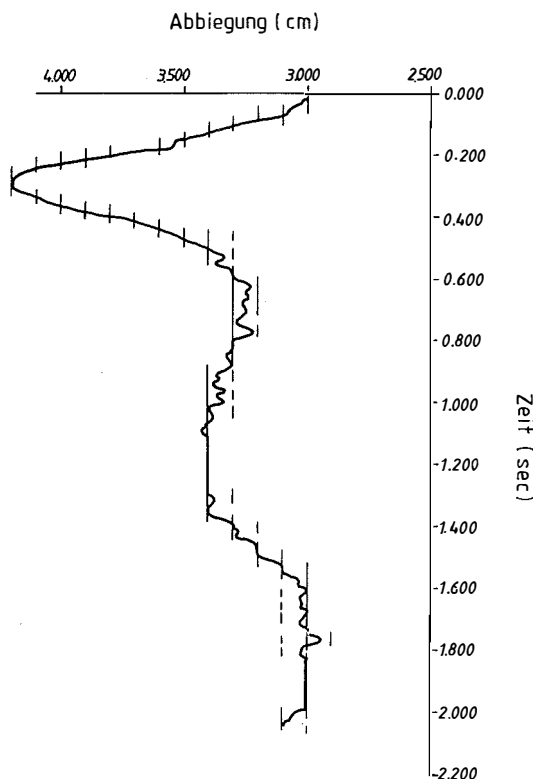


Bild 14

5. Deformationsdatenbanken

Werden Deformationsmessungen an größeren Objekten in mehreren Meßepochen durchgeführt, erhält man eine sehr große Datenmenge. Die permanente Durchführung von Deformationsanalysen nach jeder Meßepoche macht die wiederholte Verarbeitung dieser Daten notwendig. Es ist also zweckmäßig, für diese Aufgabe eine Datenbank aufzustellen. Als Eingabedaten der Datenbanken können die originalen Meßergebnisse, oder die zu einzelnen Meßepochen gehörenden Objektpunktkoordinaten dienen.

Datenbanken ermöglichen die Bestimmung der „klassischen“ Kenngrößen von Objektdeformationen. Dabei ermöglichen sie die Untersuchung von verschiedenen Deformationsmodellen. Ein weiterer Vorteil dieser Systeme ist die große Flexibilität derselben, die gestattet, verschiedene Objektpunktgruppen zusammen zu verarbeiten.

An der TU Budapest wurde im Jahre 1982 eine Deformationsdatenbank für die Deformationsmessungen der Budapester Donauufer entwickelt. Wir messen seit dem Jahr 1968 jährlich einmal die Deformationen von etwa 400 Objektpunkten. So sind wir im Besitz einer sehr großen Datenmenge. Die Datenbank wurde in einem GRADIS 2000 — PDP 11/44 System realisiert. Die Eingabedaten sind die Koordinaten x, y, z der einzelnen Objektpunkte in den verschiedenen Meßepochen. Es werden auch die Meßepochen und andere Informationen über Bestimmungsverfahren, Signalisierung und über die Zerstörung bzw. neue Signalisierung der Punkte gespeichert. Das System ermöglicht die Durchführung mathematisch-statistischer Tests für die Entscheidung über etwaige Bewegungen verschiedener Uferteile bzw. der einzelnen Punkte. Als Deformationskenngrößen wurden von uns die Verschiebungsvektoren der einzelnen Punkte und die Regressionsgeraden zwischen Koordinaten und Meßepochen benutzt. Aus den Regressionsgeraden werden die Geschwindigkeitskomponenten der einzelnen Punkte bestimmt. Das System ermöglicht auch die graphische Darstellung der Deformationskenngrößen.

6. Zusammenfassung

Zweck dieser Arbeit war, die mathematischen, physikalischen Grundlagen der geodätischen Deformationsmessungen zu behandeln. Als Ergebnis wird eine allgemeine Charakterisierung des mathematischen Modells der Deformationsmessungen gegeben. Nach einem kurzen Überblick der Deformationsmeßverfahren wird die Verarbeitung der Deformationsmessungen behandelt. In diesem Teil wird auf die Beschreibung der Bestimmungsmethoden von Deformationskenngrößen ein großes Gewicht gelegt. Abschließend wird auf die Notwendigkeit der Aufstellung von Deformationsdatenbanken hingewiesen.

Literatur

- Chraznowski, A. — Chen, Y. Q.*: Report on the Ad Hoc Committee on the Analysis of Deformations Surveys XVIII. FIG Kongress, Toronto, Band 6, 1986
- Collins, I.*: GPS Satellite Surveying a Tool for Engineering Surveys. XVIII. FIG Kongress, Toronto, Band 6, 1986
- Detrekői, Á.*: Über das stochastische Modell ingenieurgeodätischer Deformationsmessungen, XV. FIG Kongress, Stockholm, Band 6, 1977
- Detrekői, Á.*: Zur Anwendung mathematisch-statistischer Tests bei ingenieurgeodätischen Deformationsmessungen, Vermessungstechnik, 6/1979, Berlin
- Detrekői, Á.*: Application of Statistical Methods in the Interpretation of the Study of Surface Movements. Acta Geodetica, Geophysica et Montanistica Hung. 21, 1986, Budapest
- Hahn, H. G.*: Methode der finiten Elemente in der Festigkeitslehre, Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main, 1975
- Joó, I. — Detrekői, Á.*: Deformations Measurements, Deformationsmessungen, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1983
- Pelzer, H.*: Analyse von Deformationsmessungen. DGK. Reihe C. Nr. 164, München, 1971