

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

Band: 86 (1988)

Heft: 7: Prof. Rudolf Conzett in memoriam

Artikel: Integrierte Geodäsie und Anwendungen im GPS-Testnetz Turtmann

Autor: Müller, M.V. / Kahle, H.-G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-233775>

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: 17.11.2024

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

Mit (7.11) wird gezeigt, dass man im allgemeinen G.M.-Modell zuerst die unabhängigen Beobachtungen festlegen muss, wonach man die Gewichtsmatrix (6.9) berechnen kann. Die Lösung des allgemeinen G.M.-Modells wird mit (7.11) gegeben. Andere Lösungen werden in Pringle/Rayner [1971] vorgeschlagen.

Literatur:

Caspary, W.: Parameterschätzung in linearen Modellen mit Hilfe von Projektoren. Schriftenreihe HSBw München, 10/1984, S. 25–47.

Noble, B.: Applied linear Algebra. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 1969.

Pringle, R.M., Rayner, A.A.: Generalized Inverse Matrices with Applications to Statistics. Hafner Publishing Company, New York 1971.

Rao, C.: Linear Statistical Inference and Its Applications. John Wiley and Sons, New York 1973.

Tienstra, J.M.: Theory of the Adjustment of Normally Distributed Observation. N.V. Vitgeverij Argus, Amsterdam 1956.

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. J. van Mierlo
Geodätisches Institut Universität Karlsruhe
Englerstrasse 7
D-7500 Karlsruhe

Integrierte Geodäsie und Anwendungen im GPS-Testnetz Turtmann

M.V. Müller, H.-G. Kahle

Zahlreiche geodätische Beobachtungsmethoden tragen zur Bestimmung dreidimensionaler Netze bei. Ein Modell zur Auswertung heterogener Daten in der Vermessung liefert die sogenannte «Integrierte Geodäsie». Der vorliegende Artikel berichtet über ihre Methoden und über Erfahrungen bei deren praktischen Anwendung im Schweizerischen GPS-Testnetz Turtmann (Kanton Wallis).

Comme de nombreuses méthodes d'observations contribuent à la détermination de réseaux tridimensionnels, il est nécessaire d'avoir à sa disposition un modèle élaboré pour la compensation de cette multitude de données géodésiques hétérogènes. La géodésie intégrée, dont les fondements théoriques et des expériences pratiques dans le réseau de Tourtemagne sont décrits dans cet article, remplit ces exigences.

1. Einleitung

Die Geodäsie und Vermessungstechnik befindet sich in den letzten Jahren im Umbruch. Die Palette der geodätischen Beobachtungsinstrumente wurde in dieser Zeit um wichtige Messinstrumente erweitert. Man denke zum Beispiel an VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging) und GPS (Global Positioning System). Speziell GPS wird in absehbarer Zeit bei vielen Vermessungsaufgaben nicht mehr wegzudenken sein. Einschränkende Bedingungen bei traditionellen Beobachtungsmethoden fallen bei GPS-Messungen weg: Weder braucht es eine direkte Sichtverbindung zwischen

zwei Stationen, noch ist man auf schönes Wetter angewiesen. Dies erleichtert verschiedene Anwendungen. Man denke zum Beispiel an übergeordnete Grundlagentetze (Basislinien bis mehrere tausend Kilometer sind möglich [2]), an Tunnelnetze oder Deformationsmessungen. Damit kann die Geodäsie zu einem interessanten Datenlieferanten für geodynamische Fragestellungen werden. Andererseits sind geodätische Beobachtungen stark mit dem Schwerfeld der Erde korreliert (Lotabweichungen, Geoidundulationen). Damit erhebt sich die Frage, wie man alle heterogenen Daten, die zur Lösung geodätischer Aufgaben beitragen (nebst Richtungs-, Höhenwinkel-, Distanzbeobachtungen, astronomischen Messungen und nivellierten Höhenunterschieden also auch GPS-, VLBI-, SLR- und geophysikalische, zur Hauptsache gravimetrische Be-



«Integrierte Geodäsie» am Fusse des Matterhorns: Geodäsie-Studenten und -Assistenten mit GPS, Zenitkamera und Gravimeter im Diplomvermessungskurs der ETH Zürich, 1987.

obachtungen, in einem einzigen Arbeitsgang verarbeiten kann. Die sogenannte *Integrierte Geodäsie* bietet hierzu ein Konzept an, das diesen Wünschen weitgehend entgegenkommt. Dieses Modell soll in diesem Bericht näher vorgestellt werden.

2. Warum dreidimensionale Geodäsie?

Begünstigt durch die bereits erwähnten neuen Technologien der letzten Jahre und der damit erreichbaren Genauigkeit hat die Geodäsie die Möglichkeit erhalten, globale geodätische Netze zu realisieren. Zwar sprach schon Helmert vor gut hundert Jahren [11] vom globalen Aspekt der Geodäsie («Die höhere Geodäsie lehrt die Methoden zur Ermittlung der Gestalt der Niveaulächen und die Aufnahme *beliebig grosser Teile der Erdoberfläche* durch Horizontalprojektion und Höhen, mit Rücksicht auf die Gestalt der Niveaulächen»); die Zeit für die praktische Realisierung solcher Ideen war aber noch nicht reif. Dabei hätte es an praktischen Anregungen nicht gefehlt. So schreibt Heinrich Bruns 1878 in seinem Buch «Die Figur der Erde» [3] folgendes:

Man denke sich die einzelnen an der Erdoberfläche liegenden trigonometrischen Punkte geradlinig – entsprechend den Visierstrahlen – miteinander verbunden. Dann entsteht im Raum ein Vielflächner, ein Polyeder. In jedem Polyeder kann man sich noch eine Gerade angeheftet denken, welche die natürliche Schwerkrafts- und Lotrichtung angibt. In einem räumlichen X, Y, Z-Koordinatensystem würden somit pro Punkt 5 Zahlen zu bestimmen sein: 3 für die Punktlage und 2 für die Lot- und Zenitrichtung.

Erst nach dem 2. Weltkrieg befassten sich – vorerst auch wieder rein theoretisch – Wissenschaftler (Marussi, Hotine) mit der Idee einer gemeinsamen Ausgleichung von Lage und Höhe. Einen entscheidenden Impuls erhielt die dreidimensionale Geodäsie mit dem Start der ersten Satelliten vor dreissig Jahren. Doch allein mit dreidimensionalen geozentrischen Koordinaten, die die aktuellen Satellitenvermessungsmethoden mit guter Genauigkeit und verhältnismässig geringem Aufwand zu liefern vermögen, ist der Geodät nicht zufrieden. Denn mit geozentrischen Koordinaten und den – unter Zugrundelegung eines Referenzellipsoids – daraus resultierenden ellipsoidischen Höhen ist das Höhenproblem nicht gelöst. Orthometrische Höhen sind mit dem Schwerefeld der Erde stark verknüpft. Es muss daher ein Ziel der dreidimensionalen Geodäsie sein, nicht nur 3D-Koordinaten zu bestimmen, sondern gleichzeitig Aussagen über Verlauf und Grösse des Geoids am entsprechenden Punkt zu machen. Dieser Aufgabe wird die Integrierte Geodäsie – ursprünglich von Eeg und Krarup im Jahr 1973 vorgeschla-

gen [4], später u.a. behandelt von Moritz [12], Grafarend [6] und Hein [8, 9, 10] – gerecht. Im Gegensatz zu früheren, klassischen Ansätzen der dreidimensionalen Geodäsie stellt die Integrierte Geodäsie die Beobachtungen nicht mehr als Funktion von Punktlage (X, Y, Z- bzw. φ, λ, h -Koordinaten) und Lotrichtung (Φ, Λ), sondern als Funktion von Punktlage und Schwerepotential W (welches die astronomische Position Φ und Λ beinhaltet) dar. Damit wird es möglich, heterogene Datensätze – seien es nun traditionelle Beobachtungen wie Richtungen, Höhenwinkel, Distanzen und Lotabweichungen, seien es neuere Methoden wie GPS, SLR und VLBI, aber auch Potentialdifferenzen (aus Nivellement und Gravimetrie) – zu verarbeiten.

3. Das Modell der Integrierten Geodäsie

Beobachtungen, die in irgendeiner Weise zur Bestimmung von Punktkoordinaten und Schwerefeldparametern beitragen, werden im Modell der Integrierten Geodäsie als Funktion F von geozentrischen Koordinaten \mathbf{x} und dem Schwerepotential W dargestellt:

$$l = F(\mathbf{x}, W)$$

Die Gesamtheit aller Beobachtungen liefert uns ein System von (in der Regel) nichtlinearen Funktionen.

Der erste Schritt zur Auflösung eines solchen Systems erfolgt normalerweise durch Linearisierung der Beobachtungsgleichungen nach Taylor.

Mit Hilfe der Näherungswerte (U = Normalpotential, T = Störpotential)

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + \delta\mathbf{x}$$

$$W(\mathbf{x}) = U(\mathbf{x}) + T(\mathbf{x})$$

erhalten wir die linearisierte Beobachtungsgleichung

$$l = F(\mathbf{x}_0, U(\mathbf{x}_0)) + \frac{\partial F}{\partial x_{kj}}(\mathbf{x}_0, U(\mathbf{x}_0)) \delta x_{kj} + L(T)$$

wobei j = 1 bis 3 für x-, y-, z-Richtung

$$k = \begin{cases} 1 & \text{bei 1-Punkt-Funktionen (z.B. astronomische Länge)} \\ 2 & \text{bei 1-Punkt-Funktionen (z.B. Zenitdistanz)} \\ 3 & \text{bei 1-Punkt-Funktionen (z.B. Winkelbeobachtung)} \end{cases}$$

oder anders ausgedrückt

$$\delta l = \mathbf{a}^T \delta\mathbf{x} + L(T)$$

$$\text{mit } \delta l = l - F(\mathbf{x}_0, U(\mathbf{x}_0))$$

$$\mathbf{a}^T = \left(\frac{\partial F}{\partial x}(\mathbf{x}_0, U(\mathbf{x}_0)), \frac{\partial F}{\partial y}(\mathbf{x}_0, U(\mathbf{x}_0)), \frac{\partial F}{\partial z}(\mathbf{x}_0, U(\mathbf{x}_0)) \right)$$

L(T) = linearer Operator, angewendet auf das Störpotential T und dessen Ableitungen

Es fällt auf, dass in diesem Ansatz Geometrie und Einfluss des Schwerepotentials getrennt sind.

Bei der Auflösung eines Gleichungssystems derartiger Beobachtungsgleichungen hilft uns die Methode der verallgemeinerten Kollokation.

Die (realisierten) Beobachtungen werden im Kollokationsmodell folgendermassen dargestellt:

$$\mathbf{l} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Rt} + \mathbf{n}$$

\mathbf{l} = Realisierte Beobachtungen

\mathbf{Ax} = geometrischer Anteil (Koeffizientenmatrix \mathbf{A})

\mathbf{Rt} = Signalanteil (in unserem Fall bilden Schwerepotential und dessen Ableitung die Signalgrössen; Koeffizientenmatrix \mathbf{R})

\mathbf{n} = Beobachtungsrauschen

Im Normalfall umfasst der Signalvektor folgende Grössen:

$$\mathbf{t} = \left[T, -\frac{\partial T}{\partial r}, \frac{-\partial T}{\gamma}, \frac{-\partial T}{\gamma \cos b} \right]$$

Die Lösung des obigen Gleichungssystems erhalten wir unter Berücksichtigung der hybriden Norm

$$\mathbf{n}^T \mathbf{C}_{nn}^{-1} \mathbf{n} + \mathbf{t}^T \mathbf{C}_{tt}^{-1} \mathbf{t} = \min.$$

\mathbf{C}_{nn} = Kovarianzmatrix für das Beobachtungsrauschen \mathbf{n}

\mathbf{C}_{tt} = Kovarianzmatrix für das Signal \mathbf{t}

Unter dieser Bedingung ergeben sich folgende Lösungen:

1) Unbekannte Parameter

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1} \mathbf{l}$$

2) Signal

$$\mathbf{t} = \mathbf{C}_{tt} \mathbf{R}^T \mathbf{D}^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A} \mathbf{x})$$

3) Präziierte Signale auf einem beliebigen Punkt P

$$\mathbf{s}_p = \mathbf{C}_{st} \mathbf{R}^T \mathbf{D}^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A} \mathbf{x})$$

4) Rauschen (Noise)

$$\mathbf{n} = \mathbf{C}_{nn} \mathbf{D}^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{A} \mathbf{x})$$

Für Fehlerbetrachtungen dienen folgende Varianz-Kovarianz-Matrizen

$$5) \mathbf{Q}_{xx} = (\mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1} \mathbf{A})^{-1}$$

$$6) \mathbf{Q}_{tt} = \mathbf{C}_{tt} - \mathbf{C}_{st} \mathbf{D}^{-1} (\mathbf{E} - \mathbf{A} \mathbf{Q}_{xx} \mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1}) \mathbf{C}_{st}$$

wobei

$$\mathbf{D} = \mathbf{E} [\mathbf{II}^T] = \mathbf{C}_{nn} + \mathbf{R} \mathbf{C}_{tt} \mathbf{R}^T$$

$$\mathbf{C}_{nn} = \mathbf{E} [\mathbf{nn}^T]$$

$$\mathbf{C}_{tt} = \mathbf{E} [\mathbf{tt}^T]$$

$$\mathbf{C}_{st} = \mathbf{E} [\mathbf{s}_p \mathbf{t}^T],$$

mit $\mathbf{E}[\dots]$ = Erwartungswert.

Des weiteren wird vorausgesetzt, dass

$$\mathbf{E}[\mathbf{n}] = 0, \mathbf{E}[\mathbf{t}] = 0, \mathbf{E}[\mathbf{s}_p] = 0.$$

4. Anwendung im GPS-Testnetz Turtmann

Das GPS-Testnetz Turtmann wurde in VPK bereits vorgestellt [5]. Die einzigartige Topographie des Rhonetals in der Umgebung von Turtmann hat einiges zu bieten: Zufahrtsmöglichkeit zu allen Stationen (oder zumindest in die Nähe), grosse Höhenunterschiede (~1000 m im ursprünglichen, 8 Punkte umfassenden Netz; heute sogar rund 1600 m durch das Anfügen eines neunten – ebenfalls voll erschlossenen – Punktes), Möglichkeit der vollständigen terrestrischen Vermessung (alle Visuren sind möglich). Das Netz wurde in der zweiten Jahreshälfte 1985 etabliert und anschliessend mit grösstmöglicher Genauigkeit terrestrisch vermessen. In den Jahren 1985 und 1986 wurden mit fünf verschiedenen GPS-Empfängertypen (Macrometer, Sercel, TI [1985]; WM und Trimble [1986]) Satellitenbeobachtungen realisiert. Astronomische Messungen wurden im Sommer 1986 mit der transportablen Zenitkamera des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich durchgeführt. Im Rahmen der Feldarbeit für die Diplomarbeit von Irene Bernauer an der ETH Zürich [1] wurden gravimetrische Daten erhoben.

Zur Auswertung der vorliegenden heterogenen Daten bietet sich die Integrierte Geodäsie an. Dazu stand uns das Softwarepaket OPERA von Prof. Günter Hein von der Universität der Bundeswehr München zur Verfügung. Nach einigen Modifikationen – u.a. wurde als weiterer Beobachtungstyp GPS-Baseline-Komponenten implementiert – konnten verschiedene Versionen (Gesamtlösung, Varianten unter Weglassung einzelner Datentypen) berechnet werden. Eine ausführliche Beschreibung über diese Arbeiten wurde als grauer Bericht am IGP veröffentlicht [13]. Um eine Beurteilung verschiedener Varianten zu ermöglichen, wurden die einzelnen Lösungen mit der Gesamtlösung (alle Daten verwendet) mit einer räumlichen Koordinatentransformation verglichen.

Diese Berechnungen lassen einige interessante Feststellungen zu. Lässt man zum Beispiel – unter Verwendung der astronomischen Beobachtungen – gravimetrische Daten weg, so ist keine Auswirkung auf die Koordinaten festzustellen. Fehlen dagegen astronomische Beobachtungen, so tragen die gravimetrischen Daten wesentlich zur Stützung des Netzes bei. Allerdings wurden die Schweredaten ohne topographische Reduktion eingeführt, ein Mangel, der in der neusten Version von OPERA berücksichtigt wurde. Die GPS-Messungen passen gut ins terrestrische Netz (mittlere Klaffungen nach der Transformation zwischen den Lösungen mit und ohne GPS-Beobachtungen: ~3 mm). Dabei wurde bei den TI-Messungen sowohl die Auswertung des Astronomischen Instituts der Universität Bern (AIUB) [7] als auch diejenige der die Messungen ausführenden Firma Nortech verwendet. Diese beiden Datensätze unterscheiden sich einerseits in der Orientierung, andererseits durch einen unterschiedlichen Massstabsfaktor (AIUB: +4 ppm; Nortech: -10 ppm).

Vergleichsmöglichkeiten erlauben auch die Berechnungen von Dieter Schneider vom Bundesamt für Landestopographie (L+T) mit dem von ihm – ursprünglich als Diplomarbeit an der ETH Zürich entstanden – entwickelten und laufend ergänzten Programmpaket RAUMTRI zur Ausgleichung dreidimensionaler Netze [14]. Mit den praktisch gleichen Daten stimmen die beiden Lösungen im Mittel auf 1 mm überein; zur OPERA-Gesamtlösung (also mit Schwere- und GPS-Daten) sind die mittleren Klaffungen etwas grösser (~3 mm). Dabei gilt es zu bemerken, dass zum Zeitpunkt der Vergleiche die genauesten Distanzmessungen (mit Terrameter) noch nicht vorlagen.

5. Ausblick

Die Berechnungen im Testnetz Turtmann haben die Tauglichkeit der Methode der Integrierten Geodäsie angedeutet. In ih-

rem umfassenden Sinn wird die Integrierte Geodäsie wohl eher selten angewendet werden können. Einerseits liegen kaum je – ausser zu Forschungszwecken – in einem geodätischen Netz Messungen aller möglichen Beobachtungstypen vor, andererseits wird für praktische (kommerzielle) Anwendungen der nötige Aufwand kaum betrieben werden können.

Die Anwendung der Integrierten Geodäsie wird sich vielmehr auf Spezialfälle beschränken. So kann man sich zum Beispiel vorstellen, dass im Zusammenhang mit GPS-Messungen zusätzlich Gravimeterbeobachtungen zur genaueren Bestimmung der orthometrischen Höhen herangezogen werden. Ein mögliches Anwendungsbeispiel zeigt ein Schnappschuss aus dem Diplomvermessungskurs 1987 der Vermessungsingenieur-Studenten der ETH Zürich im Wallis (Abb.). Als Basis für die Anwendung der Integrierten Geodäsie wurden dabei u.a. GPS-, Schwere- und Lotrichtungsmessungen ausgeführt. Satellitengeodätische Messungen werden zunehmend die traditionellen Vermessungstechniken ergänzen oder gar ablösen; in der Folge werden heterogene Datensätze verarbeitet werden müssen. Die Integrierte Geodäsie stellt dazu ein ausserordentlich taugliches Werkzeug bereit. Auch wenn in der Praxis das Modell mit der verwendeten Version von OPERA noch nicht hundertprozentig umgesetzt werden konnte – die neueste Version des Programmpakets kann dabei Abhilfe schaffen –, so scheint doch das integrierte Ausgleichungskonzept auf zukünftige geodätische Netze zugeschnitten zu sein. Der Einsatzbereich reicht dabei von globalen geodynamischen Fragestellungen über Grundlagen-Netze in der Landesvermessung bis hin zur lokalen Anwendung in Ingenieur- und Grundbuchvermessung.

Literatur:

- [1] Bernauer, I., A. Geiger 1986. Lokale Schwerfeldbestimmungen und gravimetrische Modellrechnungen im Satelliten (GPS)-Testnetz «Turtmann». Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 38. Schweizerische Geodätische Kommission.
- [2] Beutler, G., M. Rothacher 1986. Auswertung der 1984-Alaska-GPS-Kampagne. VPK 6/86, p. 213–218.
- [3] Bruns, H. 1878. Die Figur der Erde. Publ. Königl. Preuss. Geod. Inst., P. Stankiewicz Buchdruckerei, Berlin.
- [4] Eeg, J., T. Krarup 1973. Integrated Geodesy. The Danish Geodetic Institute, Internal Report No. 7, Kopenhagen.
- [5] Geiger, A., H.-G. Kahle, D. Schneider, M. Rothacher, G. Beutler, W. Gurtner 1986. Das GPS-Testnetz Turtmann: Netzanlage und Messkampagne 1985. VPK 7/86, p. 266–271.

- [6] Grafarend, E. 1978. Dreidimensionale geodätische Abbildungsgleichungen und die Näherungsfigur der Erde. ZfV 3/78, p 132–140.
- [7] Gurtner, W., M. Rothacher, G. Beutler, A. Geiger, H.-G. Kahle, D. Schneider 1986. The 1985 Swiss GPS-Campaign. In: Proceedings of 4th Int. Geod. Symp. Sat. Pos., Austin, Texas, Vol 2, p. 979–991.
- [8] Hein, G.W. 1982a. A Contribution to 3d-Operational Geodesy (Part 1: Principle and Observational Equations of Terrestrial Type). DGK, Reihe B, Nr. 258/VII, p. 31–64.
- [9] Hein, G.W. 1982b. A Contribution to 3d-Operational Geodesy (Part 2: Principles of Solution). DGK, Reihe B, Nr. 258/VII, p. 65–85.
- [10] Hein, G.W., H. Landau 1983. A Contribution to 3d-Operational Geodesy (Part 3: OPERA – A Multi-Purpose Program for Operational Adjustment of Geodetic Observations of Terrestrial Type). DGK, Reihe B, Nr. 264.
- [11] Helmert, F. 1880. Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie. Teil 1 und 2. Teubner, Leipzig.
- [12] Moritz, H. 1980. Advanced Physical Geodesy. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- [13] Müller, M. 1986. Integrierte Geodäsie, Methode und ihre Anwendung im Präzisionsversuchsnetz Turtmann (unter spezieller Berücksichtigung von geodätischen Satellitenbeobachtungen). IGP-Bericht Nr. 111.
- [14] Schneider, D., N. Wunderlin 1981. RAUMTRI: Dreidimensionale Netzausgleichung in einem geozentrischen kartesischen Koordinatensystem (Programmbeschreibung/Benutzeranleitung). IGP-Bericht Nr. 45.

Adresse der Verfasser:
Prof. Dr. H.-G. Kahle
Dipl. Verm.-Ing. ETH Max V. Müller
Institut für Geodäsie und
Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich

Über die Bedeutung der klassischen Geodäsie

K. Rinner

Die Geodäsie liefert theoretische und praktische Grundlagen für viele Geo- und Ingenieurwissenschaften. Ihre Aussagen sind Fundamente, auf welchen andere Wissenschaften sowie die Verwaltung, die politische und die militärische Führung aufbauen.

In den letzten Jahrzehnten hat die stürmische Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik auch die Geodäsie erfasst und zu neuen Verfahren und Instrumenten geführt. Durch diese wurde sie in die Lage versetzt, ihre Ergebnisse in grösserer Allgemeinheit, mit höherer Genauigkeit und in kürzerer Zeit zu gewinnen. Gegenüber den alten Verfahren unterscheiden sie sich durch eine wesentlich grössere Fülle von Messdaten, durch geringe Transparenz in der Messung durch kompliziertere Modelle für die Berechnung und Interpretation und in der Abhängigkeit von den Weltmächten. Zur Unterscheidung werden in der Folge die alten Verfahren als klassisch bezeichnet, weil sie einer ausgewogenen, in Form und Inhalt möglichst ausgereiften Lösung entsprechen, während die neuen Verfahren unter dem Namen neuzeitliche Geodäsie zusammengefasst werden.

In der Folge wird nach einer Einleitung erst das Wesen der Geodäsie diskutiert. Hierauf werden aktuelle geodätische Aufgaben sowie geodätische Verfahren und Instrumente der klassischen und neuzeitlichen Geodäsie beschrieben. Anschliessend folgt der Versuch, eine Wertung zwischen diesen durchzuführen und die Ergebnisse darzustellen.

Diese besagen, dass die klassischen Verfahren auch im Zeitalter der neuzeitlichen Geodäsie ihren Platz haben und Theodolite, Tachymeter und analoge photogrammetrische Geräte noch lange in den technischen Büros und Ämtern gebraucht werden und nicht reif für die Abstellkammer sind. Durch die neuzeitlichen Verfahren wird die Leistungsfähigkeit der Geodäsie wesentlich erhöht. Diese muss jedoch bemüht sein, ihre bisherige Berufsethik zu erhalten und auf die neuzeitliche Geodäsie zu übertragen. Denn die Geodäsie würde das in jahrhundertelanger Tätigkeit erworbene Vertrauen als Notar der Erde und damit einen wesentlichen Bestandteil ihrer Existenzgrundlage verlieren, wenn sie von der Ethik der vollen Vertrauenswürdigkeit abgehen würde.

1. Einleitung

Die Geodäsie befasst sich mit der Ausmessung der Erde und der darauf befindlichen Objekte. Sie hat den Menschen von Anbeginn an begleitet und ist eine der ältesten wissenschaftlichen und technischen Disziplinen. Denn ihre Aufgabe, die Bestimmung der Figur der Erde, auf der wir leben, und die Beschreibung und Einteilung unseres Lebensraumes gehört zu den Grundaufgaben des Menschen.

Die nachweisbare Geschichte der Geodäsie beginnt vor etwa 5000 Jahren, ihre Entwicklung erfolgte in gemächlichen weiten Schritten in Funktion des allgemeinen wissenschaftlichen und technischen Fortschrittes. Dabei wurden Instrumente und Verfahren für die Messung, Berechnung und Interpretation entwickelt, welche nach dem jeweiligen Stand der Erkenntnis Vollkommenheit besitzen und zu mehrfach überprüften, nach menschlichem Ermessen fehlerfreien Ergebnissen führten. Der Geodät war bemüht, als Notar der Erde getreulich über ihre geometrischen und gewisse physikalische Eigenschaften zu berichten [Rinner 1978].

In den letzten Jahrzehnten hat die stürmische Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik auch die Geodäsie erfasst und zu neuen Verfahren und Instrumenten für diese geführt. Durch neue Erkenntnisse, neue Mess- und Rechenverfahren, durch Computer, Automation, Satelliten und die Raumfahrt sowie durch die Atomenergie wurde die vorher bestehende ruhige Phase der Entwicklung von