

Untersuchung systematischer Fehlereinflüsse bei Messungen mit dem Kreisel DMT Gyromat 2000

Ekkehart Grillmayer

Dissertation

Technische Universität Graz

Graz, Januar 2002

Herausgeber der Reihe

F.K. Brunner

Ingenieurgeodäsie und Messsysteme

Technische Universität Graz

Steyrergasse 30, A-8010 Graz

<http://www.cis.tugraz.at/ivm>

Bisher erschienen:

H. Hartinger, Development of a Continuous Deformation Monitoring System using GPS, 2001

A. Wieser, Robust and fuzzy techniques for parameter estimation and quality assessment in GPS, 2002

Ingenieurgeodäsie - TU Graz

Ekkehart Grillmayer

**Untersuchungen systematischer Fehlereinflüsse bei
Messungen mit dem Kreisel DMT Gyromat 2000**

Shaker Verlag
Aachen 2003

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Grillmayer, Ekkehart:

Untersuchungen systematischer Fehlereinflüsse bei Messungen mit dem
Kreisel DMT Gyromat 2000 / Ekkehart Grillmayer.

Aachen : Shaker, 2003

(Ingenieurgeodäsie - TU Graz)

Zugl.: Graz, Techn. Univ., Diss., 2002

ISBN 3-8322-1588-3

Diese Dissertation wurde an der Fakultät für Bauingenieurwesen der
Technischen Universität Graz zum Zweck der Erlangung des akademischen
Grades eines Doktors der technischen Wissenschaften eingereicht.

Prüfungskommission:

Referent: Univ.-Prof. Dr. Fritz K. Brunner

Korreferent: Apl.Prof. Dr.-Ing. Hansbert Heister

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Januar 2002

Copyright Shaker Verlag 2003

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1588-3

ISSN 1618-6303

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Kurzfassung

Bei der Vermessung untertage ist die Azimutmessung von besonderer Bedeutung. In den linienförmigen untertägigen Netzen, die nur in den Portalbereichen angeschlossen sind, ist eine gegenseitige Kontrolle der Beobachtungen durch Winkel und Strecken alleine nur eingeschränkt möglich.

Durch den Einsatz eines Vermessungskreisels, welcher die Erdrotation zur Bestimmung der Nordrichtung nutzt, ist es jedoch möglich, an beliebigen Stellen unabhängig orientierte Richtungswinkel zu messen und damit die vorgetragene Richtung zu kontrollieren. Ein für diese Arbeiten heute häufig eingesetzter Vermessungskreisel ist der DMT Gyromat 2000. Diese Arbeit widmet sich der Untersuchung systematischer Fehlereinflüsse bei Messungen mit diesem Gerät, und den Methoden zur Vermeidung bzw. Verringerung dieser Fehlereinflüsse.

Einleitend wird das Funktionsprinzip eines Vermessungskreisels allgemein erläutert. Anschließend wird die Funktionsweise des Gyromat 2000 eingehend dargestellt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Labor-Prüfeinrichtungen entwickelt, mit deren Hilfe der Einfluss einer fehlerhaften Horizontierung und der Einfluss der Eigenerwärmung und der Umgebungstemperatur auf die Kreiselergebnisse untersucht wurden. Es wird gezeigt, wie über den gesamten Temperaturbereich zwischen -10 und $+40^{\circ}\text{C}$ die Nennmessgenauigkeit von 0.6 mgon tatsächlich erreicht werden kann. Dazu wurden die Schwierigkeiten bei der exakten Temperaturkalibrierung des Gyromats eingehend analysiert. Insbesondere wird die Modellierung des Temperaturverhaltens untersucht und daraus eine erweiterte Korrekturfunktion abgeleitet.

Die Bestimmung einer lokalen Eichkonstanten ist fester Bestandteil jedes Kreiseleinsatzes. Mit Hilfe dieser Eichkonstanten wird der Bezug zwischen der astronomischen Nordrichtung und der Nordrichtung eines geodätischen Netzes hergestellt. Gegenwärtig erfolgt die Schätzung der lokalen Eichkonstante durch Mittelbildung mehrerer Messungen. Wegen der geringen An-

zahl von Messungen und der oft großen Streuung der Messwerte, kann es schwierig sein, grobe Fehler zu erkennen und von der Mittelbildung auszuschließen. Es wird eine robuste Schätzmethode erprobt, mit deren Hilfe der Einfluss grober Fehler auf die Schätzung der lokalen Eichkonstanten automatisch unterdrückt werden kann.

Abstract

Underground surveys require precise and reliable measurement of azimuths. Usually, the possible geometrical configurations do not allow sufficient control of the transferred directions by means of triangulation. Using a gyrotheodolite, which relies on the earth rotation to determine the north direction, it is possible to measure orientated directions at any point of an underground construction site. A gyrotheodolite often used today is the DMT Gyromat 2000. This thesis is dedicated to the investigation of systematic errors, that may deteriorate the quality of Gyromat 2000 measurements.

The thesis starts with a description of the functional principles of gyroscopes. Using these explanations, the Gyromat 2000 is described in detail.

Two testing facilities for gyroscopes were developed. They were used to investigate the influence of incorrect levelling, the influence of the self-heating of the instrument, and the influence of the ambient temperature on the gyroscope results. It is shown how the specified accuracy of 0.6 mgon can be obtained over the whole range of ambient temperatures from -10 to +40°C. The results are based on a detailed analysis of problems related to the temperature compensation. A model of the temperature response of the gyrotheodolite is developed and a function to correct for the temperature effects is derived.

In each gyroscope measurement campaign a local gyroscope constant must be determined. This quantity relates the astronomical north direction to the north direction of the local grid. Currently the local gyroscope constant is estimated as the mean value of a few measurements. Because of

the small number of individual measurements and the large variance of the observations, it is often difficult to detect and eliminate outliers. A robust estimation method is tested, which identifies outlying observations automatically and reduces their influence on the estimated gyroscope constant.

Dank

Zu aller erst möchte ich meiner Frau Regina danken, welche im letzten Jahr auf vieles, besonders auf gemeinsame Freizeit, verzichten musste um mir die Fertigstellung dieser Arbeit zu ermöglichen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. Fritz K. Brunner, der mir diese Arbeit ermöglicht und über den gesamten Zeitraum der Dissertation Beistand geleistet hat. Viele Details dieser Arbeit basieren auf seinen Ideen und Vorschlägen.

Für die kritische Diskussion, die Hilfe und Mitarbeit beim Aufbau der Prüfeinrichtungen und bei der Durchführung der Messungen möchte ich allen Mitarbeitern der Abteilung Ingenieurvermessung und Messtechnik der Technischen Universität Graz, im Besonderen Herrn Dipl.-Ing. Helmut Woschitz und Herrn Robert Presl, danken.

Bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Hansbert Heister möchte ich mich nicht nur für die Übernahme der Begutachtung dieser Arbeit bedanken, sondern auch für die Hilfestellung bei Detailfragen zum Gyromat.

Weiters gilt mein Dank Herrn Univ.-Prof. H. Ceriak, der es ermöglichte, an seinem Institut Stahlteile spannungsfrei zu glühen, und den Mitarbeitern des Instituts für Fertigungstechnik, die mich beim Entwurf und bei der Auswahl der Materialien für die Konsolen, Prismenhalterungen und Pfeilerplatten unterstützten, den Mitarbeitern des Instituts für maschinelles Sehen und Visualisierung, die mir bei der Auswahl der passenden CCD-Kamera behilflich waren und Herrn Univ.-Prof. G. Leising, der mir die LEDs zur Verfügung stellte, mit denen die Autokollimation mittels CCD-Kamera möglich war.

Zu guter Letzt danke ich allen meinen Freunden, allen voran Herrn Dr. A. Wieser, und meinen Eltern für die moralische Unterstützung, die oftmals notwendig war, um diese Arbeit zu einem Ende zu bringen.

E.G.

Inhaltsverzeichnis

<i>1</i>	<i>Einführung</i>	<i>1</i>
<i>2</i>	<i>Der DMT Gyromat 2000</i>	<i>5</i>
<i>2.1</i>	<i>Die Kreiselbewegung</i>	<i>6</i>
<i>2.1.1</i>	<i>Grundlagen der Mechanik rotierender Körper</i>	<i>6</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Die Bewegung des rotierenden Körpers unter dem Einfluss des sich ändernden Schwerevektors</i>	<i>15</i>
<i>2.2</i>	<i>Aufbau und Funktion des DMT Gyromat 2000</i>	<i>20</i>
<i>2.2.1</i>	<i>Mechanischer Aufbau des Gyromats</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Beobachtung der Kreiselschwingung</i>	<i>23</i>
<i>2.3</i>	<i>Ablauf einer Messung</i>	<i>31</i>

2.3.1	<i>Firmware und Messprogramme</i>	31
2.3.2	<i>Dateiformat und -transfer</i>	34
2.3.3	<i>Einfluss der Messumgebung auf das Kreiselergebnis</i>	37
2.3.4	<i>Änderungen der Bandnulllage</i>	42
3	<i>Innere Genauigkeit des Gyromat 2000</i>	43
3.1	<i>Kalibrierung und Prüfung</i>	43
3.2	<i>Aufbau der Prüfeinrichtung I</i>	46
3.2.1	<i>Der Beobachtungspfeiler</i>	49
3.2.2	<i>Die Konsolen</i>	50
3.2.3	<i>Autokollimationsziele</i>	55
3.2.4	<i>Feste Zielmarken</i>	60
3.3	<i>Stabilitätsprüfung der Anlage I</i>	68
3.3.1	<i>Berechnung der Standpunktsexzentrizität</i>	69
3.3.2	<i>Wiederholbarkeitsgenauigkeit</i>	74
3.4	<i>Einfluss der Horizontierung</i>	76
3.4.1	<i>Vertikale Achsen des Kreisel systems</i>	76
3.4.2	<i>Konstruktiver Achsfehler</i>	77
3.4.3	<i>Bestimmung des Winkels zwischen Gyromat- und Theodolitachse</i>	79
3.4.4	<i>Einfluss auf den Läuferabgriff</i>	80
3.4.5	<i>Auswirkung einer Schiefstellung des Systems</i>	81
3.5	<i>Eigenerwärmung</i>	86
3.5.1	<i>Versuche</i>	87
3.5.2	<i>Modellierung der Eigenerwärmung</i>	88
3.5.3	<i>Azimutkorrekturen</i>	98

3.5.4	<i>Schlussfolgerung</i>	99
4	<i>Temperaturverhalten</i>	100
4.1	<i>Aufbau der Prüfeinrichtung II</i>	101
4.1.1	<i>Die isolierte Kammer</i>	102
4.1.2	<i>Der Pfeiler</i>	105
4.1.3	<i>Das Klimaaggregat</i>	105
4.1.4	<i>Klimaüberwachung und Aufzeichnung</i>	107
4.1.5	<i>Ziele</i>	107
4.1.6	<i>Übertragung des Okularbilds</i>	110
4.1.7	<i>Lichtweg der Autokollimation</i>	114
4.2	<i>Akklimatisationsverhalten</i>	121
4.3	<i>Umgebungstemperatur</i>	123
4.3.1	<i>Erster Versuch zur Temperaturabhängigkeit der Azimutmessung</i>	123
4.3.2	<i>Temperaturabhängige Azimutbeobachtung mit interner Korrektur</i>	127
4.3.3	<i>Temperaturabhängige Azimutänderungen ohne interne Korrektur</i>	131
5	<i>Analyse der Azimutmessungen bei unterschiedlichen Temperaturen</i>	134
5.1	<i>Beurteilung von Modellen und Ergebnissen</i>	134
5.1.1	<i>Quantil-Quantil-Plot</i>	134
5.1.2	<i>Vorzeichentest</i>	137
5.2	<i>Einfacher Polynomansatz zur Temperaturkompensation</i>	138
5.2.1	<i>Korrekturfunktion für den Akklimatisationsversuch in Kapitel 4.2</i>	138

5.2.2	<i>Schätzung der Korrekturfunktion aus den Messungen ohne interne Korrekturfunktion</i>	141
5.3	<i>Erweiterung des Polynomansatzes um einen Eigenerwärmungsterm</i>	144
5.4	<i>Schlussfolgerung</i>	148
6	<i>Auswertung von Kreismessungen</i>	149
6.1	<i>Reduktionen</i>	151
6.1.1	<i>Polbewegungskorrektur δA_{CIO}</i>	151
6.1.2	<i>Lotabweichungskorrektur δA_{LA}</i>	153
6.1.3	<i>Die Meridiankonvergenz γ</i>	157
6.1.4	<i>Die Abbildungskorrektur ψ</i>	159
6.2	<i>Die lokale Eichkonstante E</i>	159
6.3	<i>Schätzung der lokalen Eichkonstanten</i>	165
6.3.1	<i>Mittelbildung</i>	165
6.3.2	<i>Robuste Schätzung</i>	167
7	<i>Zusammenfassung</i>	178
	<i>References</i>	182