SITZUNGSBERICHTE
DER LEIBNIZ-SOZIETÄT
Band 104• Jahrgang 2009
trafo Verlag Berlin
ISSN 0947-5850 • ISBN 978-3-89626-884-6

Inhalt

01 Dieter B. Herrmann: Begrüßung und Eröffnung des Kolloquiums

02 **Herbert Mang:** Laudatio auf Prof. Helmut Moritz im Namen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

03 **Heinz Kautzleben:** Die Geodäsie ab dem Internationalen Geophysikalischen Jahr und Helmut Moritz. Laudatio zum 75. Geburtstag im Namen der Leibniz-Sozietät

Vorträge

04 Alexander N. Marchenko, A. S. Zayats: Determination of the gravitational potential energy based on the Earth's 3D global density distribution

05 **Gligorije Perović:** On inverse problems studied by Helmut Moritz and on his human activities

06 **Bogdan Ney:** Integration of geoinformation

07 **Juhani Kakkuri:** Veikko Heiskanen and Helmut Moritz

08 **Dieter Lelgemann: E**ratosthenes and the heliocentric hypothesis of Aristarchos

09 **Herbert Hörz:** Unbestimmtheit und Exaktheit in der Wissenschaft. Anmerkungen zu wissenschaftsmethodologischen Überlegungen von Helmut Moritz

10 Heinz Kautzleben und Günter Leonhardt: Der Dresdener Geodät Horst Peschel 1909-1989

11 **Helmut Moritz:** Große Mathematiker und die Geowissenschaften: Von Leibniz und Newton bis Einstein und Hilbert

Abstracts

12 Erik W. Grafarend: Helmut Moritz, das Somigliana-Pizetti Referenz-Schwerefeld und „Mars“, die Referenz-Äquipotentialfläche

13 **Petr Holota:** Problems of potential theory in gravity field studies

14 **Elena Mazurova:** Corrections for ellipsoidality

15 **Jürgen Müller:** Moderne Geodäsie - eine Herausforderung für Gravitations- und

Quantenphysik

16 **Markku Poutanen:** From Maupertuis to GRACE. Finnish contribution to the global geodesy

17 **Fernando Sansò und G.Venuti:** The convergence problem for the collocation solution; a return

18 **Victor P. Savinykh:** Space monitoring for nature and anthropogenic disasters

19 **Christian C. Tscherning: U**he use of Least-Squares Collocation for the processing of GOCE data

20 **Janusz B. Zielinski:** Gradiometry and GNSS

Anhang

21 Poster-Texte

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 5–6*

Begrüßung durch den Präsidenten der Leibniz-Sozietät Dieter B. Herrmann

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

zu unserem heutigen ganztägigen wissenschaftlichen Kolloquium anlässlich des 75. Geburtstages unseres Mitgliedes Helmut Moritz darf ich Sie alle herzlich willkommen heißen. Die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin rechnet es sich zur Ehre an, das heutige Kolloquium als eine wahrhaft internationale Veranstaltung zum Themenkreis „Wissenschaftliche Geodäsie“ ausrichten zu dürfen und die Verdienste des führenden Akteurs der internationalen Wissenschaft, Helmut Moritz, damit zu würdigen. Da Herr Kollege Moritz Mitglied von insgesamt 13 nationalen Akademien und äquivalenten Gelehrtengesellschaften ist, freut es uns besonders, dass wir uns alle hier in Berlin begegnen, worüber wir uns insbesondere mit der Österreichischen Akademie der Wissenschaften verständigt haben, deren Wirkliches Mitglied der Jubilar ebenfalls ist. Das Fachgebiet des Jubilars gehört zu den ältesten Wissenschaftsgebieten überhaupt und dient der menschlichen Gesellschaft auf vielfältige Weise.

Mein erster Willkommensgruß gilt dem Jubilar selbst: seien Sie herzlich begrüßt hochverehrter, lieber Herr Kollege Moritz.

Ein herzliches Willkommen entbiete ich auch dem Altpräsidenten der österreichischen Akademie der Wissenschaften, Herrn Kollegen Herbert Mang, sowie stellvertretend für alle anderen anwesenden Mitglieder der beteiligten Akademien Herrn Kollegen Bogdan Ney, Mitglied des Präsidiums der Polnischen Akademie der Wissenschaften.

Eingedenk des Wirkens von Helmut Moritz als Officer in der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit können wir auch den Generalsekretär der Internationalen Assoziation für Geodäsie, Herrn Kollegen Hermann Drewes, herzlich begrüßen, der zugleich die Grüße des Präsidenten der International Union of Geodesy and Geophysics überbringen wird.

Die Technische Universität Graz, die langjährige Wirkungsstätte von Helmut Moritz, unterstützt unser heutiges Kolloquium als Mitveranstalter. Als

Vertreter des Rektors der TU darf ich Herrn Kollegen Bernhard Hofmann-Wellenhof willkommen heißen.

Mein Willkommen gilt schließlich auch allen anderen Vertretern verschiedener Akademien, Universitäten, Institute und Organisationen – aus Polen, Russland, Finnland, Dänemark, Ungarn, der Ukraine, Serbien, der Tschechischen Republik, Spanien, Italien, den USA und aus Deutschland –, die sich an unserem heutigen Kolloquium beteiligen.

Von zahlreichen Vertretern der Politik sowie von der Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften haben wir gute Wünsche für den Verlauf unserer Veranstaltung erhalten.

Meine sehr verehrten Damen und Herren,
die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, begründet 1700 von Gottfried Wilhelm Leibniz als Brandenburgische Sozietät der Wissenschaften, gehört im Ergebnis politischer Entscheidungen heute zur Zivilgesellschaft und nicht mehr zum staatlich alimentierten Wissenschaftsbetrieb. Mit ihren mehr als 300 ausgewiesenen Wissenschaftlern aus ganz Europa und zahlreichen anderen Ländern ist sie aktiv tätig, um auf akademiespezifische Weise den interdisziplinären wissenschaftlichen Diskurs zu pflegen und die Wissenschaft gemäß den von Leibniz begründeten Traditionen zu fördern. In der Rückschau auf unsere lange Geschichte können wir feststellen, dass die Geodäsie in unserer Akademie schon immer eine wichtige Rolle gespielt hat. Mit Blick auf Herrn Kollegen Moritz möchte ich besonders drei Namen hervorheben: Gauß, Baeyer und Helmert. Gauß und Helmert waren nicht nur herausragende Wissenschaftler, sondern auch bedeutende Organisatoren, und Baeyer schließlich hat die dauerhafte internationale Zusammenarbeit der Geodäten begründet, indem er 1864 hier in Berlin das Geodätische Institut ins Leben rief, aus dem schließlich die Internationale Assoziation für Geodäsie hervorging. So können wir heute auch mit Stolz feststellen, dass Helmut Moritz unter unseren Mitgliedern der zweite Präsident dieser Organisation gewesen ist, gleichsam als Nach-Nach-Nachfolger von Baeyer. Dass Moritz sich unter äußerst komplizierten politischen Bedingungen ohne jede opportunistische Rücksicht auf politische Strömungen nachhaltig für die internationale Zusammenarbeit eingesetzt hat, dafür sind wir ihm bis heute dankbar. Die lange persönliche Kooperation zwischen Helmut Moritz und unserem Mitglied Heinz Kautzleben, dem ich bei dieser Gelegenheit für die engagierte Vorbereitung des Kolloquiums herzlich danken möchte, ist ein unmittelbarer Beleg dafür.

Ich wünsche unserem Kolloquium einen guten und erkenntnisfördernden Verlauf und erkläre die Veranstaltung für eröffnet.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 7–16*

Prof. Dr. Dr. Herbert Mang, ÖAW

Laudatio auf Prof. Helmut Moritz, im Namen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Hochverehrter Herr Professor Moritz,
sehr geehrter Herr Präsident,
werte Mitglieder der Leibniz-Sozietät,
hochgeschätzte Referenten des Kolloquiums „*Wissenschaftliche Geodäsie*“,
sehr geehrte Damen und Herren!

Mit Zielrichtung Erdwissenschaften hat die UN-Generalversammlung am 20. Februar 2006 das Jahr 2008 zum internationalen Jahr des Planeten Erde erklärt. Da trifft es sich gut, dass der 75. Geburtstag von Professor Moritz, anlässlich dessen das heutige Kolloquium stattfindet, gerade in dieses Jahr fällt.

Herr Professor Kautzleben, über mehrere Jahrzehnte hinweg mit dem Jubilar eng befreundetes Mitglied der Leibniz-Sozietät, und viele weitere hochrangige Repräsentanten wissenschaftlicher Gesellschaften und internationaler Vereinigungen im Bereich der Geodäsie werden über den beeindruckenden Aufschwung sprechen, den die moderne Geodäsie nicht zuletzt durch die Arbeiten von Professor Moritz genommen hat. Im Vergleich zu ihnen ist meine fachliche Nähe zu unserem verehrten Jubilar deutlich geringer. Als Professor der Mechanik deformierbarer fester Körper an der Technischen Universität Wien kann ich mich dennoch ganz gut in so manchen Abschnitt seiner beeindruckenden beruflichen Vita hineinversetzen.

Die außerordentlich große Begabung von Helmut Moritz zeigte sich schon im Gymnasium und später an der damaligen Technischen Hochschule Graz, an der er seine akademische Ausbildung zum Vermessungsingenieur erhalten hat. Im Selbststudium hat er darüber hinaus im Laufe seines Lebens viele Sprachen erlernt, darunter mehrere slawische. Darauf werde ich noch zu sprechen kommen.

Ungeachtet seiner breit gestreuten Interessen, die auch die Altphilologie miteinschließen, kristallisierten sich bei Helmut Moritz schon bald konkrete

Vorstellungen über Studium und Beruf heraus. Seine natürliche Begabung, den Formelapparat der Mathematik nutzbringend zu verwerten, hat ihn zum Studium des Vermessungswesens bewogen. Sein universitärer Mathematiklehrer, der nicht zuletzt wegen seiner didaktischen Fähigkeiten hoch geschätzte Professor Bernhard Baule, hat in Helmut Moritz die Erkenntnis verstärkt, dass für ihn ein Studium mit ausgeprägtem Mathematikbezug das Richtige sei.

„*In principio erat mechanica …*“ mag Helmut Moritz in der Erinnerung daran in den Sinn kommen, dass er seine Eignung für ein naturwissenschaftlich-technisches Studium durch Ablegung der als schwierig geltenden Prüfung aus Mechanik als erstes Hochschulexamen feststellen wollte. Das Kalkül „*vorzüglich*“, mit dem wenig später auch seine Prüfung aus dem Fach Darstellende Geometrie bewertet wurde, hat die Selbstzweifel an seiner Befähigung für das gewählte Studium, die durch Anfangsschwierigkeiten bei der Anfertigung von Tuschezeichnungen genährt wurden, endgültig beseitigt.

Die große Bedeutung numerischer Berechnungen, auf die schon Gauss hingewiesen hat, mag Moritz dazu veranlasst haben, die Theorie der Ausgleichung der Messfehler bei der Bestimmung des Flächeninhalts von Grundstücken mittels Polarplanimeters im Rahmen seiner Dissertation in den Funktionenraum zu verallgemeinern. Der Weg zum Doktorat begann allerdings mit einer nicht gerade ermutigenden Bemerkung von Professor Hubeny, an dessen Institut Moritz seit 1955 als wissenschaftliche Hilfskraft tätig war. „Was wollens denn“, eröffnete Hubeny dem jungen Doktoratswerber, „in der Geodäsie sind doch schon alle Probleme gelöst.“ Helmut Moritz musste sich also das Dissertationsthema selbst suchen. Der Titel der mit Auszeichnung bewerteten Arbeit lautete „*Fehlertheorie im Funktionenraum*.“ Dabei ging es um zwei analoge Verallgemeinerungen der Fehlertheorie im Spektralraum. Bei beiden handelt es sich um äquivalente Formen des unendlich-dimensionalen Hilbertraums.

Nahtlos an seine 1959 erfolgte Promotion *sub auspiciis praesidentis rei publicae* schloss sich seine Heirat an, deren wirtschaftliches Fundament eine feste Anstellung im Vermessungsamt der Stadt Graz war. Bereits zwei Jahre später habilitierte sich Dr. Moritz an der Technischen Hochschule Graz mit einer Arbeit über ellipsoidische Geometrie. Bemerkung am Rande: zur Lösung geodätischer Probleme erscheinen Laméfunktionen des dreiachsigen Ellipsoids oft als zu kompliziert. Als Näherungen für ein Drehellipsoid werden Reihen von Kugelfunktionen vielfach als ausreichend angesehen. Verallgemeinerungen dieser Sichtweise für andere Anwendungen sind jedoch durchaus möglich. Richtungsweisend dürfte in diesem Zusammenhang die von der

Friedrich-Wilhelm-Universität Berlin approbierte Dissertation von Ernst Vorsteher über die Darstellung des Potentials des Ellipsoids durch Lamé'sche Funktionen sein.

Zurück zu unserem Jubilar. Für ihn erwies sich das Department of Geodetic Science an der Ohio State University in Columbus als Stern erster Größe. Sein erster Forschungsaufenthalt an dieser Universität erstreckte sich von Februar 1962 bis Jänner 1963. Seine Forschungsarbeiten wurden von dem dort wirkenden finnischen Professor Weikko Heiskanen stark unterstützt. Mit einer grundlegenden Arbeit über Fehlerfortpflanzung wurde Helmut Moritz rasch international bekannt. Unter Einbeziehung von Veröffentlichungen von Norbert Wiener und Andrej Nikolajewitsch Kolmogorow konnte Moritz seine akademische Lehrtätigkeit auf dem Gebiet der Theoretischen Geodäsie wesentlich erweitern. Das schlug sich in dem gemeinsam mit Heiskanen verfassten Buch „*Physical Geodesy*" nieder. Dieses beeindruckende Werk, das ins Chinesische, Serbokroatische, Spanische und Türkische übersetzt wurde, entwickelte sich rasch zu einem geodätischen Bestseller. Eine zusammen mit Professor Bernhard Hofmann-Wellenhof verfasste Neuauflage ist vor drei Jahren erschienen. Sie wurde schon sehr bald danach ins Chinesische, Japanische und Russische übersetzt.

Mehr als 20 Jahre ist Helmut Moritz der Ohio State University als Adjunct Professor verbunden geblieben. Als Ausdruck dieser Verbundenheit und in Würdigung seiner herausragenden wissenschaftlichen Leistungen wurde ihm von dieser Universität 1992 das Ehrendoktorat verliehen.

1964 wurde Helmut Moritz als beamteter Privatdozent an die Universität Hannover berufen. Dort konnte er, wie zuvor schon in Columbus, am geodätischen Randwertproblem des großen russischen Geodäten Molodenski arbeiten. Molodenski verknüpfte die Bestimmung der Erdgestalt aus Messungen der Schwerkraft und des Schwerepotentials zu einem einheitlichen Gedankengebäude. Für weiterführende Arbeiten wurde Helmut Moritz, der in diesen Forschungen einen guten Teil seines Lebenswerkes erblickt, rund 30 Jahre später mit dem Ehrendoktorat der Moskauer Universität für Geodäsie, Aerophotogrammetrie und Kartographie ausgezeichnet. Die Verleihung dieser Würde erfolgte durch den damaligen Rektor Viktor Savinych, einen dreifachen Kosmonauten, der heute in unserer Mitte weilt.

Im Alter von bloß 30 Jahren wurde Helmut Moritz zum ordentlichen Professor an die Technische Universität Berlin berufen. Kein Wunder, dass fast alle Mitarbeiter älter als er waren.

Einen Ruf an die Technische Hochschule Graz im Jahre 1967 nahm er wegen des unbefriedigenden Verlaufs der Berufungsverhandlungen in Wien

nicht an. Im Jahre 1971 erhielt er einen zweiten Ruf an die Technische Hochschule Graz. Diesmal verliefen seine Verhandlungen mit dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung viel besser als im Jahre 1967. Die negativen Auswirkungen des Jahres 1968 auf die TU Berlin erleichterten ihm schließlich den Abschied von dieser Universität.

Nach der Rückkehr nach Graz schrieb Moritz innerhalb nur eines Jahres das Buch „*Advanced Physical Geodesy*“. Es folgten drei weitere Bücher, die das Gesamtgebiet der physikalischen Geodäsie einschließlich Geodynamik und Erdrotation umfassten.

Seiner mathematischen Orientierung folgend, lenkte Professor Moritz seine Arbeiten verstärkt auf die Verallgemeinerung der Schwere-Prädiktion geodätischer Messgrößen und deren Ausgleichung mittels der Methode der Summe der kleinsten Quadrate. Er beschäftigte sich zunächst mit der linearen Theorie und später über Vorschlag von Professor Fernando Sansó mit einer nichtlinearen Interpretation der Theorie von Molodenski. Professor Sansó und Professor Tscherning werden heute über Probleme referieren, für die sich, mitgeprägt durch Helmut Moritz, der Begriff Kollokation nach kleinsten Quadraten eingebürgert hat. Dabei handelt es sich um die Ausgleichung im Hilbertraum.

Im beruflichen Werdegang des Jubilars spielt die internationale Tätigkeit eine große Rolle. Durch Kooperationen mit Fixsternen am Himmel der internationalen geodätischen Spitzenforschung erfuhren seine Arbeiten eine Bereicherung. Als Präsident der Sektion 4 der International Association of Geodesy, Theory and Evaluation, fungierte er zudem als Vorsitzender einer neuen Studiengruppe über fundamentale Erdkonstanten, die nicht nur geodätische, sondern auch astronomische, geophysikalische und geographische Bedeutung besitzen.

1975 wurde Helmut Moritz zum Vizepräsidenten und 1980 zum Präsidenten der IAG gewählt. In diesem Zusammenhang spricht er von seiner internationalen Bürokratisierung, die 1991 mit seiner Wahl zum Präsidenten der International Union of Geodesy and Geophysics ihre Krönung erfuhr.

Erwähnenswert ist weiters die verdienstvolle Tätigkeit von Helmut Moritz als Präsident der Internationalen Humanistenliga in Sarajevo von 1998-2006 und die als Generaldirektor des Inter-Universitäts-Zentrums in Dubrovnik, von der er 2002 zurücktrat.

Fast hätte ich vergessen, die frühen Aktivitäten des Jubilars in der Deutschen Geodätischen Kommission zu erwähnen, zu deren Vorsitzenden er bereits im Jahre 1965 gewählt wurde. Damals wurde eine enge wissenschaft-

liche Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München begründet, die Helmut Moritz in Anerkennung seiner überragenden fachwissenschaftlichen Leistungen 1981 im Alter von nur 48 Jahren das erste seiner drei Ehrendoktorate verlieh.

Bleiben wir bei den Ehrungen, die Professor Moritz erwiesen wurden. Da wäre etwa die Verleihung des Kaarina and W.A. Heiskanen Award der Ohio State University im Jahre 1963 zu nennen, weiters die Auszeichnung mit der Carl-Friedrich-Gauss Medaille anlässlich des 200. Geburtstages des Namensgebers durch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft 1977, eine Ehrung, die dem Jubilar besonders viel bedeutet, ferner die Verleihung der Alexander-von-Humboldt-Medaille der Akademie der Wissenschaften der DDR im Jahre 1983, die Zuerkennung des Titels Professor h.c. der Wuhan Technical University of Surveying and Mapping in China im Jahre 1993 und die Verleihung der Kopernikus-Medaille der Polnischen Akademie der Wissenschaften im Jahre 1998.

Meine Bekanntschaft zu Professor Moritz ist in unser beider Mitgliedschaft in der Österreichischen Akademie der Wissenschaften begründet. In lebendiger Erinnerung ist mir die Vorstellung des Jubilars vor einem von ihm in der Akademie gehaltenen Vortrag durch den damaligen Präsidenten Otto Hittmair geblieben. Dieser Vortrag fand kurz nach der Wahl von Helmut Moritz zum wirklichen Mitglied der ÖAW im Jahre 1988 statt. Präsident Hittmair wies darauf hin, dass Moritz damals bereits Mitglied von 8 namhaften ausländischen Wissenschaftsakademien bzw. Gelehrtengesellschaften sowie Astronome Correspondant der Königlichen Sternwarte Brüssel war. Diese Mitteilung versetzte mich einerseits in ehrfürchtiges Staunen, rief andererseits aber Verwunderung darüber hervor, dass es so vieler ausländischer Akademiemitgliedschaften bedurfte, um die heimische Akademie von der wissenschaftlichen Dignität von Helmut Moritz zu überzeugen.

Die Österreichische Akademie der Wissenschaften vereint in sich eine traditionelle Gelehrtengesellschaft mit einer modernen Forschungsträgerorganisation. Rund zwei Jahrzehnte gehörte Helmut Moritz dem Kuratorium des Instituts für Weltraumforschung der ÖAW mit Sitz in Graz an. Sein Schüler Hans Sünkel, derzeit Rektor der Technischen Universität Graz und wie Helmut Moritz wirkliches Mitglied der ÖAW, leitet die Abteilung für Satellitengeodäsie dieses Instituts. Neben der Satellitengeodäsie sind die Erschließung des Sonnensystems und des erdnahen Weltraums Hauptforschungszweige des Grazer Akademieinstituts.

Der Blick aus dem Weltraum zurück zur Erde, aber auch hinaus ins Sonnensystem lenkt die Aufmerksamkeit wieder zu den Arbeiten von Professor

Moritz. In seinem Buch „*Earth Rotation*“ hat er sich mit der inneren Struktur unserer Erde auseinander gesetzt und dazu geophysikalische Überlegungen angestellt, zu deren mathematischer Beschreibung die Differentialgleichungen der Elastizitätstheorie und der Geodynamik benötigt werden. Ausgehend vom Modell eines festen Ellipsoids, das gemäß den Überlegungen Poincarés und Jeffreys mit einer homogenen Flüssigkeit gefüllt ist, diskutiert Helmut Moritz das erweiterte Modell Molodenskis mit einem elastischen Mantel, einem heterogenen flüssigen Kern und einem möglicherweise elastischen inneren Kern. Weiterführende Überlegungen dazu haben über die Arbeiten der japanischen Forscher Sasao, Okubo und Saito zu einer gleichermaßen einfachen und eleganten Formulierung von 4 Gleichungen im Komplexen geführt. Die dreidimensionale Kinematik solcher Gebilde lässt sich mit den Mitteln der Analytischen Geometrie, insbesonders mittels Quaternionen, einer Verallgemeinerung der komplexen Zahlen, kompakt und elegant beschreiben.

Nun aber zu Helmut Moritz als Mitglied der Gelehrtengesellschaft der ÖAW. Dort meldet er sich stets dann zu Wort, wenn es gilt, die Wissenschaftlichkeit der Akademie vor dem Überborden der Bürokratie zu schützen. Bei Akademiewahlen vertritt er immer höchste Qualitätsansprüche. Für die Unterstützung, die er mir als langjährigem Akademiefunktionär stets angedeihen hat lassen, gilt es auch an dieser Stelle herzlich Dank zu sagen.

Zum korrespondierenden Mitglied der österreichischen Akademie der Wissenschaften wurde Helmut Moritz bereits 1976 gewählt. Seine Wahl zum auswärtigen Mitglied der Finnischen Akademie der Wissenschaften erfolgte noch früher, nämlich schon 1970, die zum auswärtigen Mitglied der Accademia Nazionale dei Lincei 1974, zum Ehrenmitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften 1983, zum korrespondierenden Mitglied der Königlichen Spanischen Akademie der Wissenschaften 1984, zum auswärtigen Mitglied der Schwedischen Akademie der Ingenieurwissenschaften und der Akademie der Wissenschaften der DDR im selben Jahr, zum Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina 1987, zum auswärtigen Mitglied der Polnischen Akademie der Wissenschaften 1988, zum korrespondierenden Mitglied der Kroatischen Akademie der Wissenschaften und Künste 1994, zum auswärtigen Mitglied der Chinesischen Akademie der Wissenschaften 1998 und schließlich zum auswärtigen Mitglied der Jugoslawischen Akademie der Ingenieurwissenschaften 2001. Seit 1977 ist Helmut Moritz Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft,

seit 1985 auch der Royal Astronomical Society und seit 2001 überdies auch der Leibniz-Sozietät Berlin.

Die beeindruckenden Fremdsprachenkenntnisse des Jubilars wurden bereits erwähnt. Voraussetzungen für deren Erwerb und ihre Pflege waren und sind die Liebe zu fremden Sprachen, die Moritz nach eigener Aussage bereits aus dem Gymnasium mitgebracht hat, und eine außergewöhnlich hohe Sprachbegabung.

Helmut Moritz spricht die im Folgenden in alphabetischer Reihenfolge angeführten Sprachen: Englisch, Französisch, Italienisch, Polnisch, Russisch, Serbokroatisch, Slowenisch, Spanisch und Tschechisch. Die Reihenfolge entspricht laut Moritz zufällig genau der zeitlichen Reihenfolge des Erlernens dieser Sprachen und der Qualität der entsprechenden Sprachkenntnisse. Auf Fragen, wie er sich diese Kenntnisse angeeignet habe, antwortet Moritz, er habe die Sprachen gelernt wie ein kleines Kind die Muttersprache lernt.

Für die internationale Tätigkeit, ohne die heutzutage eine wissenschaftliche Karriere jedenfalls im natur- und technisch-wissenschaftlichen Bereich undenkbar ist, erachtet Helmut Moritz gute Fremdsprachenkenntnisse zu Recht als unerlässlich. Nicht minder wichtig ist für ihn der sichere Umgang mit Programmiersprachen. Als Beispiel nenne ich MATHEMATICA, womit er weißes Rauschen durch Zufallszahlen erzeugte und daraus durch Summation färbiges Rauschen. Eine geodätische Anwendung in Form von Geländemodellen sowohl für glattes Gelände als auch für zerklüftetes Gebirge ergab sich durch Variation eines Parameters in der Fouriertransformation des Leistungsdichtespektrums.

Die wissenschaftliche Breite und Tiefe des Jubilars manifestiert sich nicht zuletzt in seinen Darlegungen zur Naturphilosophie, die er mit dem Titel „*Science, Mind and the Universe*“ versehen hat. Als Zugang zu diesem anspruchsvollen Thema wählte Helmut Moritz eine Diskussion über das menschliche Gehirn, das mit seiner nicht rein digitalen Signalverarbeitung dem Bewusstsein Eindrücke der Umwelt vermittelt.

In seine Darstellung arbeitet Moritz die auf Boltzmann zurückgehende Theorie des Erkennens ein. Bald kommt er auf das von Russell und Whitehead verfasste Werk „*Principia Mathematica*“ zu sprechen. Der Beschreibung bestimmter Teilbereiche der Mathematik und Logik durch formale Regeln stellt Moritz die Erkenntnis Kurt Gödels von der Unmöglichkeit der Allgemeingültigkeit eines solchen Vorgehens gegenüber. In einem formalen System könne, so Gödel, eine logische Formel konstruiert werden, mittels der sich ihre Unbeweisbarkeit im Rahmen dieses Systems zeigen lasse. Wichtige

Bereiche der Physik und anderer Wissensgebiete können somit nicht vollständig durch Axiome beschrieben werden.

Moritz illustriert die Schrittabfolge These – Antithese – Synthese in seinem ureigensten Interessensgebiet, der Gravitation, und beschreibt, wie die Kopernikanische Revolution mit der Sonne anstatt der Erde im Zentrum die Herleitung des Newtonschen Gravitationsgesetzes aus den Keplerschen Gesetzen ermöglicht.

In einer erweiterten Reflexion über das philosophische System von Spinoza, der im Stile Euklids Definitionen, Axiome und Sätze beschreibt, führt Moritz aus, erst Hilbert habe ein streng axiomatisches System der Euklidischen Geometrie formuliert.

Die Nähe zur Mechanik in der Darstellung von Moritz wird augenscheinlich, wenn er die Hamiltonschen Bewegungsgleichungen für kanonisch konjugierte Variable mit einem Minimum an mathematischen Formeln beschreibt, um die dahinter stehende Gedankenwelt auch Lesern zugänglich zu machen, die in der Mathematik weniger versiert sind.

Der postulierten Existenz des Laplaceschen Dämons, der in perfekter Kenntnis aller Anfangsbedingungen eine kausale Beschreibung der Bewegung aller Körper im Universum erreichen möchte, setzt Moritz die Theorie chaotischer Systeme entgegen, wie sie schon Poincaré formuliert hat. Den deutschen Meteorologen Ertel bezeichnet Moritz als Vorläufer von Edward Lorenz. Aus den Gleichungen von Lorenz zur Wettervorhersage folgt ihre Instabilität über größere Zeitbereiche. Das verschafft dem Chaos über Fraktale und seltsame Attraktoren den ihm zukommenden Platz in der Systemtheorie im Gegensatz zu den stabilen und regulären Systemen klassischer Lehrbuchdarstellungen.

Moritz erklärt eindrucksvoll, wie aus der Unvorhersagbarkeit von Würfelexperimenten im Wege von Konzepten der Statistischen Mechanik nach Gibbs und Boltzmann die Irreversibilität thermodynamischer Gleichungen folgt. Die Würfelexperimente führen über Symmetrieüberlegungen zu statistischen Aussagen über deren Gesamtheit, wodurch kollektive Ordnung aus dem Chaos entsteht.

Es wäre nicht Helmut Moritz, hätte er nicht seine Kollokationsmethode vor dem Hintergrund bestehender Irregularitäten im Schwerefeld der Erde zumindest verbal als eine Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate dargestellt.

In einem eigenen Abschnitt über die Relativitätstheorie diskutiert Moritz den Ersatz der Galileischen Koordinatentransformation gegeneinander be-

wegter Systeme durch die nach Hendrik Antoon Lorentz benannte Transformation, die Einstein auch für die Mechanik als bei großen Geschwindigkeiten relevant erkannt hat. Aus einem Zitat von Minkowski, wonach Raum und Zeit allein nur als Schatten einer Vereinigung verbleiben, während der Raumzeit physikalische Realität zukomme, formuliert Moritz den Zugang zum Riemannschen Krümmungstensor, mit dem sich das Gravitationsfeld aus der Raumzeit-Krümmung beschreiben lasse. Über den Einsteintensor zur Beschreibung der Materie wird der Konnex zwischen Materie und Geometrie formuliert. In Worten illustriert Moritz die Kovarianz der Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie und legt dar, Gravitation und Trägheit seien nicht nur in einem Punkt inseparabel, sondern auch in einer gewissen Umgebung dieses Punktes, woraus die Identität von schwerer und träger Masse folge.

Die historische Darstellung von Moritz zur Entdeckung von Elementarteilchen ist gerade heute sehr aktuell, zu einem Zeitpunkt zu dem die Megamaschine des Large-Hadron-Colliders im CERN bei Genf fundamentale Erkenntnisse über den Urknall erwarten lasse.

In seiner Beschreibung der Entdeckungen der Eichtheorien von Yang und Mills zeichnet Moritz anschaulich nach, wie bisher getrennt wahrnehmbare Naturkräfte bei hohen Energien als vereint wahrgenommen werden können. Für die noch ausstehende Theorie der Gravitation diskutiert Moritz die Möglichkeiten von Supersymmetrie und Stringtheorien, lässt das Konzept der Schleifenquantengravitation anklingen und spannt seinen historischen Bogen zurück zu dem großen dalmatinischen Physiker, Mathematiker und Astronomen Ruđjer Bošković, der auf seine Weise zu seiner Zeit von dem gesprochen hat, was wir heute „*Theory of Everthing*“ nennen.

Damit hat Helmut Moritz die Grundlagen der Naturwissenschaften in einer Gesamtschau dargestellt. Auf dieser Basis kann er nun die Philosophie als Aufeinanderfolge ihrer Geschichte charakterisieren. Dabei greift er auf Aussagen von Plato und Aristoteles, Decartes und Kant bis zu Popper und Wittgenstein, um nur einige zu nennen, zurück. Augustinus zitiert er mit den Worten: „Ein Tag ist wie tausend Jahre und tausend Jahre sind wie ein Tag“. Den Schluss bildet der Ausspruch „Die Wahrheit ist symphonisch“.

In einer Weiterführung seines Werkes über Naturphilosophie stellt Moritz das Hegelsche System als Sierpinski-Fraktal dar und warnt, dass dort, wo theologische Konzepte mit den Mitteln menschlicher Sprachen diskutiert werden, Unsicherheiten auftreten.

In einem Vortrag über Erdbeben und Tsunamis muss sich Moritz mit einer Frage aus dem Auditorium auseinandersetzen, warum Gott derartige Katastrophen zulasse. In seiner Antwort erklärt sich Moritz zwar als für theolo-

gische Argumente nicht zuständig, stellt aber dem persönlichen Unglück, das ihm durch den Tod seiner Frau widerfahren ist, ein Zitat von Isaias aus dem Buche Job gegenüber: „Der Herr spricht: Meine Gedanken sind nicht die Euren, meine Wege sind nicht die Euren."

Eine andere Erweiterung seines naturphilosophischen Werkes hat Moritz gemeinsam mit seiner Tochter, einer promovierten Biologin, verfasst und dem Andenken an seine Frau gewidmet. Nach einer kompakten Zusammenfassung der mathematischen und philosophischen Grundlagen der Naturphilosophie gehen die Autoren auf Aussagen Darwins über den Ursprung der Arten durch natürliche Zuchtwahl ein. Sie diskutieren dann das Dogma der Molekularbiologie, das von der Desoxyribonukleinsäure über die Ribonukleinsäure zum Protein führt, besprechen die vorübergehende Zunahme der Ordnung im lebenden Organismus durch zugeführte Energie auf der Grundlage der gespeicherten Information und illustrieren die Struktur des Hyperzyklus nach Eigen und Schuster. Der mechanistischen Deutung des Lebens nach Monod stellen sie eine Aussage von Papst Benedikt XVI. gegenüber, in der dieser die Einheit von Schöpfung und Evolution betont, wobei die Verknüpfung durch das Und laut einer Aussage des ehemaligen Wissenschaftsministers und Präsidenten der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Hans Tuppy, tief liegende philosophische Dimensionen aufweist.

Mit der Erwähnung seiner Beiträge zur Physikalischen Geodäsie ebenso wie zur Naturphilosophie ist bei Weitem noch nicht alles über das gleichermaßen breite und tiefe wissenschaftliche Œuvre von Prof. Moritz gesagt. Zu Beginn seiner Karriere hat er das Honorar für von ihm erteilten Nachhilfeunterricht in Mathematik zur Bezahlung dafür verwendet, dass er auf fremden Klavieren üben und spielen durfte. Nun, da er als Organist bei Sonntagsmessen fungiert, hat er ein Postludium für Orgel mit dem Titel „*Es sungen drei Engel*" komponiert. Es ist allerdings keine gewöhnliche Melodie – sie hat ihre Wurzeln im 13. Jahrhundert, und Gustav Mahler hat sie in seine 3. Symphonie aufgenommen, Paul Hindemith in seine Oper „Mathis der Maler". Helmut Moritz verstärkt einen Teil seiner Harmonie mit Quinten im Stile Anton Bruckners.

Ich komme zum Schluss. Unser aller Bewunderung gilt dem hervorragenden Wissenschaftler und wahren Humanisten Helmut Moritz, dessen beeindruckendes Opus vom Erdkern über die Evolution des Lebens bis hinauf zu Himmelskörpern reicht, ein Œuvre voll von Erkenntnissen und Eindrücken, die unser Leben bereichern und uns durch ihre Schönheit beglücken. Ihm gelten meine tief empfundenen Glückwünsche, in die ein kräftiges „*Ad multos annos*" mit eingeschlossen ist.

Ihnen, meine sehr geehrten Damen und Herren, aber danke ich für Ihre Aufmerksamkeit.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 17–28*

Heinz Kautzleben

Die Geodäsie ab dem Internationalen Geophysikalischen Jahr und Helmut Moritz

Laudatio zum 75. Geburtstag
im Namen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.
Vorbemerkungen zum Kolloquium „Wissenschaftliche Geodäsie“

Die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. veranstaltet das Kolloquium „Wissenschaftliche Geodäsie“ am 14. November 2008 als Ehrung und akademiespezifisches Präsent für ihr langjähriges aktives Mitglied Helmut Moritz aus Anlass seines 75. Geburtstages. Die Leibniz-Sozietät würdigt Helmut Moritz als herausragenden Wissenschaftler, wirkungsvollen Organisator der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit und aktiven Humanisten.

Ihre Laudatio zum 70. Geburtstag von Helmut Moritz hat die Sozietät in ihren „Sitzungsberichten …“ Bd. 64, Jahrg. 2004, S. 186, veröffentlicht; auf sie sei an dieser Stelle ausdrücklich verwiesen. In der Laudatio im heutigen Kolloquium soll vertiefend sein Einfluss auf die Entwicklungstrends der Geodäsie ab dem Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58 (IGJ) gewürdigt werden. Wenn ein Wissenschaftler mit einem solch umfangreichen und bedeutenden Lebenswerk wie Helmut Moritz das 75. Lebensjahr vollendet hat, werden er und sein Werk zunehmend zum Objekt von Studien zur Zeitgeschichte der Wissenschaft, das umso mehr, wenn das Werk und der Lebensweg zur Einsicht offen liegt und allgemein zugänglich ist. Seine Bücher und weiteren Veröffentlichungen sind dafür eine Fundgrube: Seine Interessen reichen immer tiefer als bis zur Lösung der konkreten Aufgabe. Er sucht nach den Hintergründen und den logischen Zusammenhängen und gibt sich erst zufrieden, wenn er diese verstanden hat und überzeugend formulieren kann.

Das wissenschaftliche Werk von Helmut Moritz bildet den „roten Faden“ des Kolloquiums - den Referenten sei Dank. Meine Vorbemerkungen konzentrieren sich auf die Entwicklungstendenzen und Teilgebiete der Geodäsie, die Helmut Moritz – auf welche Weise auch immer – beeinflusst, gestaltet

oder mitgestaltet hat, ohne das jedes Mal ausdrücklich zu sagen. Vollständigkeit kann und soll nicht angestrebt werden. Auf die Beweisführung muss an dieser Stelle verzichtet werden. Um die Aussagen auch Nicht-Geodäten zu verdeutlichen, werden im Folgenden auch Begriffsbildungen verwendet, die in der geodätischen Literatur weniger üblich sind.

Fakten zum Leben und Werk

Helmut Moritz begann sein Berufsleben in den Jahren, als das Internationale Geophysikalische Jahr 1957/58 (IGJ) durchgeführt wurde. 1956 beendete er das Studium des Vermessungswesens an der Technischen Hochschule Graz (THG) als Diplom-Ingenieur. 1959 promovierte er ebendort zum Doktor der technischen Wissenschaften (Dr. techn.). Der Grund für die Nennung des IGJ im Titel der Laudatio ist selbstverständlich nicht dieses zeitliche Zusammenfallen. Helmut Moritz sagt selbst, dass er als Berufsanfänger in Graz mit dem IGJ direkt auch gar nichts zu tun gehabt hätte. Tatsächlich war er von 1955 bis 1958 als wissenschaftliche Hilfskraft am Geodätischen Institut der THG tätig; 1958 wurde er Beamter in Graz beim Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Die Weichen für sein weiteres Wissenschaftlerleben wurden im Februar 1962 gestellt, als er auf zwei Jahre vom Bundesamt für eine Tätigkeit als Research Associate am Department of Geodetic Science an der Ohio State University (OSU) beurlaubt wurde. Im Department an der OSU hat Helmut Moritz den Geist des IGJ kennen und schätzen gelernt. Entscheidend wurde für ihn dabei die Begegnung mit dem großen finnischen Geodäten Weikko Aleksanteri Heiskanen. Zum Bundesamt kehrte er nicht mehr zurück.

Die beiden Jahre 1962 bis 1964 in Columbus, Ohio, waren der Beginn einer engen Zusammenarbeit mit der OSU, die – ab 1964 nebenamtlich, jedoch mit starken Auswirkungen auf seine hauptamtliche Tätigkeit – bis 1990 andauerte: von 1964 bis 1969 als Nonresident Research Associate, dann als Adjunct Professor. Hauptamtlich war er ab 1964 tätig: für ein halbes Jahr als beamteter Privatdozent für Höhere Geodäsie an der Technischen Hochschule Hannover, dann als Ordentlicher Professor für Physikalische Geodäsie an der Technischen Universität Berlin und ab 1971 als Ordentlicher Professor für Physikalische Geodäsie an der (nunmehr) Technischen Universität Graz. 2003 wurde er dort emeritiert.

Helmut Moritz hat weit über 200 wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht. Über sein eigentliches Fachgebiet hat er 6 Bücher geschrieben:

- Heiskanen, W. A.; Moritz, H.: Physical Geodesy. Freeman, San Francis-

co, London 1967
- Moritz, H.: Advanced Physical Geodesy. Wichmann, Karlsruhe 1980
- Moritz, H.; Mueller, I. I.: Earth Rotation – Theory and Observation. Ungar, New York 1987
- Moritz, H.: The Figure of the Earth – Theoretical Geodesy and the Earth's Interior. Wichmann, Karlsruhe 1990
- Moritz, H., Hofmann-Wellenhof, B.: Geometry, Relativity, Geodesy. Wichmann, Karlsruhe 1993
- Hofmann-Wellenhof, B. Moritz, H.: Physical Geodesy. 2nd ed. Springer, Wien, New York 2005/2006.

Seinen Beitrag zur Entwicklung der wissenschaftlichen Geodäsie und seine Sicht der Geodäsie lernt man am schnellsten aus diesen Büchern kennen. Die Bücher sind mehr als Monographien, sondern wahre Standardlehrbücher für die akademische Aus- und Weiterbildung, darüber hinaus Leitfäden für die Organisation der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit. Sie fassen systematisch den aktuellen Stand des Wissens auf dem betrachteten Gebiet zusammen, definieren damit dieses Gebiet richtungweisend als Aktionsfeld der derzeitigen Forschung und Praxis, ermöglichen die Einarbeitung und geben Anregungen für die weitere Forschung. Bei der Durcharbeitung sollte man mit den Büchern über die Physikalische Geodäsie beginnen.

Die nüchternen Daten zur akademischen Karriere und zum wissenschaftlichen Schaffen von Helmut Moritz sind schon beeindruckend. Noch mehr sagen über sein Wirken die Funktionen aus, in denen er der Fachwelt gedient hat:

- in der International Association of Geodesy (IAG) von 1967 bis 1975 Präsident der Special Study Group (SSG) „Mathematical Methods in Physical Geodesy", von 1974 bis 1979 Präsident der SSG „Fundamental Geodetic Constants", von 1971 bis 1975 Präsident der Section IV „ Theory and Evaluation", von 1975 bis 1979 1. Vizepräsident der IAG, von 1979-1983 Präsident der IAG;
- in der International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) von 1979 Mitglied des Exekutivkomitees, von 1983 bis 1991 Mitglied des Büros, von 1991 bis 1995 Präsident der IUGG und
- im International Council of Scientific Unions (ICSU) von 1993 bis 1996 Mitglied des Executive Board des ICSU.

Hinzu kommt noch sein persönliches Engagement zur direkten Förderung der Geodäsie und von Fachkollegen in benachteiligten Ländern; es wurde ausführlich in der Laudatio der Leibniz-Sozietät zum 70. Geburtstag gewürdigt.

Zur Entwicklung der Geodäsie

Das heutige Erscheinungsbild der Geodäsie wird grundlegend durch die Entwicklung der relevanten Wissenschaft, Technik und Praxis im Zeitraum der letzten reichlich sechs bis sieben Jahrzehnte geprägt. Heute kann die Geodäsie, vor allem die global betriebene Geodäsie nicht aktiv sein, ohne auf die Leistungskraft der Weltmächte zurückgreifen zu können. Den Beginn dieser Entwicklung markieren die Anforderungen und die technologischen Fortschritte im 2. Weltkrieg. Sie führten zum Aufstieg der Physikalischen Geodäsie. Die entscheidenden Weichenstellungen erfolgten im und durch das IGJ, und zwar erstens dadurch, dass es gelang, künstliche Erdsatelliten in die Erdumlaufbahn zu bringen, und zweitens dadurch, dass trotz des Kalten Krieges auch auf militärisch relevanten Gebieten der Erdwissenschaften die weltweite internationale wissenschaftliche Kooperation durchgesetzt werden konnte. Die geodätische Nutzung von Erdsatelliten ist wissenschaftlich-logisch die Fortsetzung der Physikalischen Geodäsie. Mit dem IGJ nicht verbunden, aber für ein neues konzeptionelles Herangehen an die Probleme der Physikalischen Geodäsie außerordentlich wichtig, war, dass in diesen Jahren die Arbeiten des großen sowjetisch-russischen Geodäten Michail Sergejewitsch Molodenskij über gravimetrische Geodäsie außerhalb der UdSSR durch Übersetzungen, 1958 in die deutsche Sprache und 1962 ins Englische, bekannt wurden.

Heute trifft auf die Geodäsie in Theorie und Praxis wirklich die allgemein verständliche, aber außerordentlich präzise Definition zu, die unser großer Vorgänger Friedrich Robert Helmert fünf Generationen vor uns formuliert hat: „Die Geodäsie befasst sich mit der Ausmessung und Darstellung der Erdoberfläche.“ Hier muss man lediglich „Geodäsie“ verstehen als zusammenfassende Bezeichnung für die Spezialgebiete Geodäsie, Photogrammetrie und (topographische) Kartographie, die zu Helmerts Zeit noch gar nicht selbständig existierten, und „Darstellung“ als die exakte Darstellung der Geometrie der Erdoberfläche sowohl in analoger wie auch in digitaler Form. (In einer Definition der Geodäsie im engeren Sinne wird man nach dem Vorschlag von Heinrich Bruns die Erforschung des irdischen Schwerefeldes im Außenraum der Erde hinzufügen.) Wie zukunftsträchtig die Definition Helmerts war und ist, zeigt sich seit den 1990er Jahren an den Universitäten in aller Welt in der Zusammenführung der Spezialinstitute für die genannten Gebiete zu organisatorischen Einheiten für Geodäsie und Geoinformatik, wo die Geodäsie die Geobasisinformationen beiträgt.

Unter „Erdoberfläche“ versteht die Geodäsie die äußere Begrenzung des festen Erdkörpers und der aufliegenden Wassermassen (in Abgrenzung gegenüber dem Luft- und Weltraum) und behandelt sie bei der Erfassung und der Darstellung exakt als analoge, approximativ als digitale zweidimensionale Folge von Punkten des Georaumes. Dabei ist der Übergang zwischen analog und digital dank des Vordringens der Digitalelektronik unwesentlich geworden. Ausgehend davon wird man heute als zentrale Aufgabe der Geodäsie benennen: Ortsbestimmung für jeden beliebigen Punkt auf der ganzen Erdoberfläche mit höchstmöglicher Genauigkeit bei der Ausmessung und der Darstellung – global einheitlich, ohne Sprünge beim Übergang von einer Region zur anderen. Bei den Anwendungen sind Abstriche an der Genauigkeit zulässig. „Genauigkeit“ umfasst sowohl die Genauigkeit der Messung am einzelnen Punkt als auch die Güte bei der Erfassung der Veränderungen von Ort zu Ort.

Um die Fortschritte der Geodäsie zu beurteilen, muss man davon ausgehen, dass die Geodäsie eine messende Disziplin ist. Ihr Erfolg hängt davon ab, dass sie geeignete und ausreichend viele Messdaten gewinnen kann, wobei „geeignet“ besagt, dass die Messdaten richtig im Hinblick auf das angestrebte Endergebnis verarbeitet werden können.

Die Geodäsie kann ihre Ziele nur erreichen, indem sie iterativ vorgeht. Folglich dominieren Näherungsbetrachtungen und Näherungsverfahren, überall: bei den Modellen, den Messungen und den Rechnungen. Die einen sind von den anderen nicht unabhängig. Das macht die Geodäsie schwierig, trägt aber zu ihrem Reiz für den Wissenschaftler bei. Heute wird diese sehr verwickelte Situation weit besser verstanden und beherrscht als zu Beginn des betrachteten Zeitraumes. Die Geodäsie beginnt mit einfachen Modellen für die Erdoberfläche (und, nicht zu vergessen, für das Schwerefeld der Erde) als Grundlage für ihre Messungen, analysiert die damit gewonnenen Daten, verbessert anhand dieser Aussagen die ursprünglichen Modelle und beginnt auf der neuen Grundlage einen neuen Arbeitszyklus und so fort. Dabei wird sie mit großen praktischen Schwierigkeiten konfrontiert: Die Datenmengen, die beherrscht werden müssen, sind ungeheuer groß. Hilfe zur Beherrschung bieten letztlich nur gute Theorien. Das bei weitem wichtigste Modell ist das Erdellipsoid mit dem Modell für die zugehörige Normalschwere.

Die Genauigkeit der globalen Ortsbestimmung ist innerhalb des letzten halben Jahrhunderts um mehrere Zehnerpotenzen gestiegen – von etwa 100 m auf etwa 1 cm und besser. Das sind gewaltige Fortschritte für Geodäsie und Navigation und deren Nutzung in allen gesellschaftlichen Bereichen. Dem

gegenüber steht, dass das zugrunde liegende klassische Postulat der Geodäsie heute offenbar ausgereizt ist – das Postulat: die Erde kann innerhalb einer Beobachtungskampagne ausreichend genau als statisch bzw. stationär angenommen werden, und die offensichtlichen zeitlichen Veränderungen können sämtlich ausreichend genau als kleine Störungen, lineare Superpositionen behandelt werden. In den Mittelpunkt der geodätischen Forschung ist heute die Geodynamik gerückt. Auf diesem Genauigkeitsniveau zeigt sich, dass viele Phänomene, die von der Geodäsie bei der Erfüllung ihrer zentralen Aufgabe als Störungen betrachtet werden, wissenschaftlich und praktisch wichtig sind und die Geodäsie mit deren Untersuchung beachtliche Beiträge für die Erforschung und Überwachung des Erdsystems liefern kann. Bei einigen geodätischen Operationen werden zudem bereits die Grenzen überschritten, bis zu denen die Gesetze der klassischen Physik gültig sind.

Zum Aufstieg der Physikalischen Geodäsie

Helmut Moritz wurde zum „Steuermann des Aufstieges“. Wegweisend sind vor allem seine Untersuchungen zu zwei Problemen: Randwertaufgabe und Kollokation.

„Ortsbestimmung“ heißt „Bestimmung der Koordinaten des Ortes in einem bestimmten Koordinatensystem“. Da das Verfahren für jeden beliebigen Punkt anwendbar sein soll, muss es im Prinzip immer die Angaben für die ganze Folge von Orten liefern können. Die Ortsbestimmung ist vollständig, wenn für jeden beliebigen Punkt die geozentrischen kartesischen (bzw. die physikalisch äquivalenten sphärischen oder ellipsoidischen) und die natürlichen Koordinaten (Breite, Länge, Abstand zum Geoid) bestimmt werden. Die Geodäsie muss bei ihren Operationen, die gewöhnlich auf und oberhalb der Erdoberfläche durchgeführt werden, mit dem Dualkonflikt zurechtkommen, dass die (geradlinige) Ausbreitung der Lichtstrahlen die Verwendung der kartesischen Koordinaten nahe legt, während die Aufstellung der Messgeräte der Lotlinie und damit der Struktur des Schwerefeldes der Erde folgt, was die Verwendung der natürlichen Koordinaten nahe legt. In den Gesetzen der Physik, die zum Beispiel auch bei der Berechnung der ballistischen Bahnen von Raumflugkörpern genutzt werden, wird die Ortsabhängigkeit gewöhnlich in kartesischen Koordinaten ausgedrückt. Für die Geodäsie ist wichtig, dass die kartesischen Koordinaten rein mathematisch exakt und sehr einfach in sphärische oder ellipsoidische umgerechnet werden können, deren Koordinatenflächen recht gut mit denen der natürlichen Koordinaten übereinstimmen. Die Koordinatenflächen der natürlichen Koordinaten sind die Äqui-

potentialflächen des Schwerefeldes der Erde; deren wichtigste, das Geoid, die Bezugsfläche für die Höhenangaben, entspricht mehr oder weniger gut dem mittleren Erdellipsoid.

MORITZ I – Untersuchungen zur Randwertaufgabe

Die Physikalische Geodäsie befasst sich mit den Beziehungen zwischen den Ortsangaben in kartesischen bzw. sphärischen oder ellipsoidischen Koordinaten und denen in natürlichen Koordinaten. Es sind ihrem Charakter nach physikalische Beziehungen. Sie ergeben sich aus der Lösung der geodätischen Variante des Randwertproblems der Potentialtheorie. Die Beziehungen sind umso einfacher, je geringer die Ansprüche an die Genauigkeit der Ortsbestimmung sind. Je höher die Ansprüche geschraubt werden, umso besser muss die Theorie werden und umso mehr muss zusätzlich gemessen werden. Es gibt prinzipielle und zu jeder Zeit auch praktische Grenzen. Die Grenzen für die Physikalische Geodäsie werden in erster Linie durch die Möglichkeiten bestimmt, die Verteilung der Massen zwischen Erdoberfläche und Geoid ausreichend genau und vollständig zu bestimmen bzw. relevante Ersatzlösungen anbieten zu können.

Bereits weiter oben wurde darauf hingewiesen, dass in den Jahren um das IGJ die Arbeiten von M. S. Molodenskij über gravimetrische Geodäsie, die er in der UdSSR in den 1940er Jahren durchgeführt hat, im Westen bekannt wurden. Sie lösten ein Umdenken beim Herangehen an die Probleme der Physikalischen Geodäsie, zumindest ein intensives Nachdenken über das bisherige Herangehen aus. Den Geodäten wurde bewusst, dass sie es bei ihren Arbeiten mit einem Randwertproblem der Potentialtheorie zu tun haben. Bisher lösten sie das geodätische Randwertproblem nach dem Vorbild von George Gabriel Stokes für das Geoid als Randfläche. Das vereinfachte die geodätischen Probleme und machte sie geometrischen Intuitionen zugänglich. Theoretisch unbefriedigend, wenn auch mit geringen praktischen Auswirkungen, ist dabei, dass die Massen zwischen Geoid und Erdoberfläche bekannt sein müssen. Molodenskij zeigte, dass diese Unzulänglichkeiten vermieden werden können: Das Randwertproblem kann exakt für die Erdoberfläche als Randfläche gelöst werden. Der erforderliche mathematische Apparat ist allerdings sehr schwierig. Nach langen intensiven Untersuchungen ist heute klar, dass die Theorie von Molodenskij auch vollständig mit elementarer Mathematik behandelt werden kann. Besonders wichtig ist, dass heute auch die Beziehungen zwischen den klassischen und den modernen Formeln eingehend geklärt sind.

MORITZ II – Kollokation

Die Verwendung der Begriffe „beliebiger Punkt“ und „Genauigkeit“ deutet an, dass bei den geodätischen Operationen stets der Zufall beachtet werden muss. Dem wird heute dadurch Rechnung getragen, dass die Orte der Erdoberfläche und alle relevanten Größen als ortsabhängige Zufallsfelder aufgefasst werden. Diese Auffassung bietet weit reichende Möglichkeiten sowohl für die Geodäsie selbst wie auch für die Integration der geodätischen mit weiteren Geoinformationen. Sie ist eine der theoretischen Prämissen für die modernen Verfahren der Prädiktion, allgemein der Kollokation. Sie wird ermöglicht, zumindest begünstigt, durch die schon lange bekannte und auch weithin genutzte Gesetzmäßigkeit, dass sich sowohl das Relief der Erdoberfläche wie auch das Schwerefeld der Erde als Summe von Strukturelementen abnehmender Größe darstellen lassen, deren Intensitäten mit der Größe im allgemeinen abnehmen; bei sehr kleinen Größen sind sie wieder etwas höher. Sehr nützlich ist weiterhin, dass die Wirkung der Anomalien im Gesamtbild mit der Entfernung von der Erde mehr oder weniger schnell abnimmt. Man kann also recht gut zwischen den globalen Grundzügen und kleinräumigen, lokalen Anomalien unterscheiden. In der Geodäsie muss man sehr genau definieren, was „normal“ und was „anomal“ sein soll. Die verschiedenen mathematischen und physikalischen Verfahren liefern durchaus verschiedene Schnittstellen.

Man erkennt schnell, dass die beiden Probleme Randwertaufgabe und Kollokation mathematisch-physikalisch eng miteinander verknüpft sind. Eines der verbindenden Elemente ist die Darstellung durch eine Reihe nach Kugelfunktionen. Einerseits ist diese Reihe die Lösung der Laplaceschen Differentialgleichung bei Verwendung von Kugelkoordinaten. Zum andern bildet sie die optimale Darstellung eines Zufallsfeldes auf der Kugeloberfläche.

Geodätische Nutzung von künstlichen Erdsatelliten

Helmut Moritz hat sich mit Fragen der Satellitengeodäsie aus der Sicht der Physikalischen Geodäsie befasst. Im Wesentlichen ging es dabei darum, wie die in diesem Arbeitsbereich gesammelten Messdaten für die Lösung der Probleme der Physikalischen Geodäsie eingesetzt werden können. Der wichtigste Beitrag der Satellitengeodäsie zu dieser Problematik ist die Bestimmung des Schwerefeldes der Erde. Im Gegensatz zur terrestrischen Gravimetrie, die unmittelbar Schwerewerte an einer Vielzahl von Punkten der Erdoberfläche liefert, woraus durch Ausgleichung die in der Theorie verwendete analytische

Darstellung des Schwerepotentials durch eine Reihe nach Kugelfunktionen mit den numerischen Werten der einzelnen Reihenglieder als kondensiertes Ergebnis abgeleitet wird, haben die Ergebnisse der Satellitengeodäsie sofort die Form einer solchen Darstellung, abgeleitet aus den Beobachtungen zur Bahnverfolgung der Satelliten. Die großräumigen Strukturelemente können durch die Satellitengeodäsie sehr gut erfasst werden, die kleinräumigen weit weniger gut, zu deren Erfassung sind bodennahe Messungen nach wie vor unerlässlich.

Zur Geodäsie an der Ohio State University

Eingangs wurde gesagt, dass der Aufenthalt und die weitere Tätigkeit an der Ohio State University in Columbus, Ohio, USA, für den Wissenschaftler Helmut Moritz wegweisend wurde. Man kann das nachvollziehen, wenn man sich die Geschichte der Geodäsie an der OSU etwas genauer ansieht.

Erdwissenschaften sind an der OSU seit Gründung der Universität im Jahre 1873 vertreten, Geologie und Geographie in eigenen Departments, Surveying im Department of Civil Engineering. 1936 wurde die Ohio State University Research Foundation (OSURF) gegründet, um den Angehörigen der OSU zu ermöglichen, außerhalb der normalen Universitätsfinanzierung Kontraktforschung betreiben zu können. Ab etwa 1940 wurde die OSU auf den Gebieten von Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie zu einer der wichtigsten Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen der USA. 1947 richtete die OSURF das Mapping & Charting Research Laboratory (MCRL) ein. Zu den vordringlichen Aufgaben wurde die Einrichtung eines World Geodetic System. Nachdem das MCRL funktionierte, war es nur logisch, auch die akademische Ausbildung für diese Arbeiten zu verstärken. 1950 richtete die OSU ein Institute of Geodesy, Photogrammetry and Cartography (IGPC) ein. Das IGPC war im Rahmen der OSU völlig neu: die institutseigene Forschung wurde prächtig finanziert und bot den Erwerb akademischer Grade. Die OSU suchte jetzt nach Wissenschaftlern nicht nur in den USA, sondern in aller Welt, die bereit waren, an dem Programm des IGPC mitzuarbeiten. Als größter Erfolg erwies sich, dass Weikko A. Heiskanen den Ruf annahm. Er kam 1950 von Helsinki vorerst zum Arbeitsaufenthalt für ein Jahr, 1951 übernahm er die Funktion des wissenschaftlichen Direktors. 1953 wurde er auch Executive Direktor des IGPC. Diese Entwicklung entsprach der seit Jahrzehnten bewährten Erkenntnis, dass die Geodäsie sich nur weiterentwickeln kann, wenn die Geodäten aller Länder über die nationalen Ziele hinaus zusammenarbeiten.

Aus vielen Dokumenten aus den staatlichen Archiven der USA, die seit den 1990er Jahren öffentlich zugänglich sind und von den Historikern ausgewertet wurden, ist heute bekannt, dass die USA Anfang der 1950er Jahre ihre Wissenschaftspolitik neu formiert haben. Das hat die Erdwissenschaften in besonderem Maße betroffen. Die neue Wissenschaftspolitik ermöglichte die Vorbereitung und Durchführung des Internationalen Geophysikalischen Jahres, die Abschlüsse des Internationalen Antarktisvertrages und des Weltraumvertrages und vieles andere mehr. Die führenden Kräfte der USA, die durch den 2. Weltkrieg zur global agierenden Weltmacht geworden waren, förderten nunmehr verstärkt die internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit unter beträchtlichem Einsatz ihrer nationalen Möglichkeiten. Sie wussten, dass auch ihre nationalen Ziele besser und schneller, manchmal überhaupt erst, erreicht werden können, wenn sie die internationale Wissenschaft fördern, und dass die Mitarbeit von Wissenschaftlern anderer Nationen in den USA nur erreicht werden kann, wenn diese davon überzeugt sind, dass die Ergebnisse ihrer Arbeit in den USA der Wissenschaft weltweit, also auch ihren Heimatländern uneingeschränkt zur Verfügung stehen werden.

Weikko Heiskanen ist zum IGPC nach Columbus, Ohio, gegangen, nachdem diese Politik in den USA formuliert worden war; er ist dort geblieben und hat Verantwortung übernommen, nachdem sie Fuß gefasst hatte. Heiskanen war zeitlebens überzeugter Internationalist und hat stets als solcher gehandelt.

Der Beginn der Weltraumfahrt 1957/58 brachte enorme Konsequenzen für die geodätischen Unternehmen an der OSU – sofort positive und auch solche, die sich unvorhersehbar in der weiteren Zukunft negativ auswirken sollten. Die Zahl der Studenten wurde in den Jahren 1958 und 1959 jeweils verdoppelt. Im Rahmen der Universität wurde ab 1959 ein neues Department of Geodetic Sciences gebildet, das die akademische Lehre und Forschung übernahm. In der OSURF wurde das MCRL aufgelöst. Das IGPC unter Leitung von Heiskanen bestand bis zu dessen Emeritierung 1961 weiter, übte aber jetzt mehr koordinierende Funktionen aus. Die Situation an der OSU beruhigte sich 1962 mit der Berufung von Urho U. Uotila zum Chairman des Dept. of Geodetic Sciences der OSU. Uotila war ein Geodät, der mit Heiskanen aus Finnland zur OSU gekommen und inzwischen Staatsbürger der USA geworden war. Er amtierte als Chairman bis 1989 und wurde 2006 emeritiert. Der für die geodätischen Forschungen an der OSU zuständige Programmmanager war von 1960 bis 1980 Bela Szabo im Air Force Cambridge Geophysics Laboratory. Ihm vor allem verdanken das Dept. of Geodetic Sciences der

OSU und Helmut Moritz direkt die langjährige großzügige Förderung. Heiskanen blieb am Department noch bis 1966 aktiv und ging dann nach Helsinki zurück, wo er 1971 verstorben ist. Die vor allem von ihm im IGPC begründeten Traditionen in der Ausrichtung der Wissenschaft und im Umgang mit den Wissenschaftlern wurden im Department noch viele Jahre weitergeführt.

Heiskanen war 1950 zur OSU gekommen, um ein „World Geodetic System“ zu erarbeiten. Dafür hatte er ein Programm und eine Methode, an denen er schon lange gearbeitet hatte, ab 1936 im International Isostatic Institute, das die IAG für ihn beim Finnischen Geodätischen Institut eingerichtet hatte. Es ging um die Ableitung einer globalen Darstellung des Geoids aus Schweremessungen allein an der Erdoberfläche. Im IGPC in Columbus gab es jetzt dafür Geld, er konnte auch seine Mitarbeiter aus Helsinki mitbringen. Inzwischen gab es auch Möglichkeiten zur gravimetrischen Aufnahme der Ozeangebiete, die intensiv genutzt wurden und deren Ergebnisse einbezogen werden konnten. Das Vorgehen war klassisch nach den Formeln von Stokes u.a. Das Ergebnis lag 1957 vor als sog. „Columbus-Geoid“. Dann brachten aber bereits die Bahnbeobachtungen zu den ersten künstlichen Erdsatelliten die Erkenntnis, dass Satellitendaten wesentliche Ergänzungen zu den gravimetrischen Daten bringen würden. Es ist bekannt, dass das erste WGS 1967 des Department of Defense der USA auf gravimetrischen Daten, Doppler-Beobachtungen und weiteren Daten beruhte. Ähnliches gilt für das WGS 1972. Inzwischen hatten sich aber auch die International Astronomical Union (IAU) und die IAG mit dieser Frage befasst. Sie hatten festgestellt, dass die wissenschaftliche Qualität des WGS 1972 unzureichend ist. Wie es in dieser Frage weiter gegangen ist, kann am besten Helmut Moritz erzählen, der die dafür gegründete SSG der IAG geleitet hat.

Als Helmut Moritz 1962 zum Department of Geodetic Sciences an die OSU kam, war die Erkenntnis gewachsen, dass die bisherigen Methoden zur Berechnung des Geoids überdacht und zumindest erweitert werden mussten. Die Bedeutung der Isostasie war gesunken. Heiskanen selbst wusste, dass er sich grundsätzlich neu mit der Physikalischen Geodäsie befassen musste. In Helmut Moritz fand er dabei den kongenialen Partner. Das Ergebnis ist beider Werk „Physical Geodesy“, das weltweit für viele Jahre zum Standardlehrbuch werden sollte. Für Helmut Moritz war das Werk der erste Höhepunkt seines wissenschaftlichen Schaffens; es wurde zum Ausgangspunkt und zum Konzept für seine weitere jahrzehntelange fruchtbare und wirkungsvolle wissenschaftliche Tätigkeit.

Arbeiten zum Thema Erdrotation

Beim Nachdenken über die physikalischen Hintergründe der natürlichen Koordinaten führt die Höhe auf das Schwerefeld der Erde und führen Breite und Länge zur Erdrotation. Zum wissenschaftlichen Problem wird die Erdrotation erst dadurch, dass sie nicht absolut gleichmäßig ist. Die Geodäsie befasst sich mit den Schwankungen Präzession, Nutation, Änderungen der Tageslänge, um sie zu eliminieren. Für Geophysik und Astronomie liefern sie wertvolle Aussagen zur Dynamik der Erde und zur Himmelsmechanik. Helmut Moritz hat im Buch, das er gemeinsam mit Ivan Mueller geschrieben hat, beide Aspekte behandelt – man kann sagen: in der von ihm gewohnten tief schürfenden und dennoch verständlichen Weise.

An dieser Stelle muss (allein aus Zeitgründen!) die Laudatio, gekoppelt mit einigen Vorbemerkungen zum Kolloquium, enden.

Sie kann aber nicht enden, ohne noch einmal zu versuchen, unsere Wertschätzung des Jubilars „auf den Punkt zu bringen“:

Helmut Moritz zählt weltweit zu den herausragenden Persönlichkeiten, welche die Entwicklung der Geodäsie seit dem IGJ maßgeblich gefördert und geprägt haben. In seinem Wirken waren und sind zwei Richtungen ausgeprägt:

1. Er versteht es meisterhaft, traditionelle und neue Methoden der Geodäsie, insbesondere der physikalischen Geodäsie, mathematisch streng zu entwickeln bzw. weiterzuentwickeln und für Forscher und Anwender verständlich darzulegen, in seinen wissenschaftlichen Artikeln und vor allem in seinen großen Buchveröffentlichungen ebenso wie in seinen Vorlesungen und Vorträgen.
2. Er arbeitet mit hohem Einsatz und großem Geschick für die internationale geodätische Zusammenarbeit, an führender Stelle im Rahmen der Internationalen Assoziation für Geodäsie ebenso wie auch direkt mit den Fachkollegen über alle politischen Grenzen hinweg.

Die Grenzen des Fachgebietes sind dabei nie auch Grenzen seiner wissenschaftlichen, kulturellen und humanistischen Interessen.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 29–39*

A. N. Marchenko, A. S. Zayats
National University „Lviv Polytechnic“, Institute of Geodesy, Lviv, Ukraine

Determination of the gravitational potential energy based on the Earth's 3D global density distribution

Introduction

Determination of the 3D density distribution δ inside the Earth's interior from the given external potential leads traditionally to the solution of improperly posed inverse problem of the gravitational potential. If the planet's gravitational potential energy E and the surface density are accepted as additional information, this problem transforms from an improperly posed to a properly posed problem with its possible solution for the 3D density $\delta(\rho, \vartheta, \lambda)$ through the three-dimensional Cartesian moments of a gravitating body (Mescheryakov, 1977). The gravitational potential energy E taken with the sign (–) represents the quadratic functional ($W = -E$) of δ (Moritz, 1990) and therefore can be applied to get a stable solution. This functional W represents the work of gravitation with remarkable expression for W through Dirichlet's integral $D(V,V)$ on the gravitational potential V being extended throughout all space (Thomson and Tait, 1879). As a result, additionally to standard definition of the energy E we need appropriate explicit relationships and accurate numerical E-values based on the 3D distribution of the Earth's density models.

One of possible approaches leads to the search of the stationary value E or the so-called Gauss' problem (Gauss, 1840). Gauss proved in his famous memoir (1840) that $W = -E$ has some minimal value $W_{\min}$. Thomson and Tait (1879) wrote, in particular: "The manner in which Gauss independently proved Green's theorems is more immediately and easily interpretable in terms of energy". The minimum amount of W is $W_{\min} = M \cdot V_0 / 2$, if all masses are concentrated on the boundary σ where the gravitational potential $V_0 = \text{const}$ and M is the Earth's mass (Idelson, 1932). A remarkable summary of the

Gauss' problem reads: „minimum and maximum potential energy correspond to physically (for the Earth) meaningless cases: a surface distribution and a mass point. The 'true' Earth lies somewhere in between" (Moritz, 1990). One of possible solutions for the answer about the energy E of the 'true' Earth was given by (Marchenko, 2007) in the form of inequality when the Gaussian distribution leads to a reliable estimation of the lower limit of E=E_{Gauss}: various density models give E-values at the vicinity of E_{Gauss}.

In contrast to the last paper this study aims to derive according to Maxwell (1881) other kind of expression for the gravitational potential energy $E = -(W_{\min} + \Delta W)$. This representation allows a simple estimation of $W_{\min}$ and important treatment of the deviation ΔW from this minimal amount $W_{\min}$ as Dirichlet's integral on the internal potential V_i generated by an adopted density distribution. On the other hand, the Earth's mass and three principal moments of inertia are selected as initial information for the unique and exact solution of the restricted 3D Cartesian moments problem (Mescheryakov, 1991), preserving in this way the external gravitational potential from zero to second degree/order and the principal moments (A, B, C) of inertia. Thus, the 3D global density inside the spherical planet was adopted for the estimation of the potential energy E.

Basic relationships

Traditionally the computation of the Earth's gravitational potential energy is based on the following conventional expression

$$E = -W = -\frac{1}{2}\int_{\tau} V_i \cdot \delta \cdot d\tau \,, \tag{1}$$

where $\delta = \delta(r, \vartheta, \lambda)$ is the planet's volume density, V_i is the Earth's internal gravitational potential, τ is the planet's volume enclosed by the surface σ, and W is the work of gravitation required to transport the masses M from a state of infinite diffusion to their actual place inside the Earth.

However we prefer to use another treatment of Eq. (1) in terms of the internal potential only that leads to the equivalent and useful relationship for the energy E. Since our basic model of density can include density jumps and can represent some piecewise bounded function, let us suppose that $\delta \in L_2(\Sigma)$ is defined on the Hilbert space $L_2(\Sigma)$ of square-integrable functions inside the Earth's interior Σ. In this case the internal potential V_i has generalized second

derivatives and satisfies Poisson's equation in almost all points of Σ (Holota, 1995):

$$\nabla^2 V_i = -4\pi G\delta \ , \ \left(\delta = -\frac{\nabla^2 V_i}{4\pi G}\right). \tag{2}$$

Substitution of Eq. (2) into Eq. (1) by means of the first Green's identity applied with (Maxwell, 1881) to Eq. (1) gives

$$W = -\frac{1}{8\pi G}\int_\tau V_i \cdot \nabla^2 V_i d\tau = -\frac{1}{8\pi G}\left[\int_\sigma V_i \frac{\partial V_i}{\partial n} d\sigma - \int_\tau D(V_i, V_i) d\tau\right], \tag{3}$$

$$\int_\tau D(V_i, V_i) d\tau = \int_\tau \left[\left(\frac{\partial V_i}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_i}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_i}{\partial z}\right)^2\right] d\tau = \int_\tau \left|\mathrm{grad} V_i\right|^2 d\tau \ . \tag{4}$$

The Green's transformation [Eq. (3)] is valid if we suppose that the function V_i and its first derivatives are continuous or even piecewise (Courant and Hilbert, 1951). Eq. (4) denotes always-nonnegative Dirichlet's integral. Note that Eq. (1) may be transformed via Green's identity as

$$4\pi \int_\tau V_i \cdot \delta \cdot d\tau = \int_\varpi D(V_i, V_i) d\tau \ , \tag{5}$$

where Dirichlet's integral is extended throughout all space ϖ . The interpretation of Dirichlet's integral in terms of the gravitational potential energy follows from Eq. (5).

Let us now assume that the boundary σ represents a level surface where the gravitational potential $V_i = V_0 = \mathrm{const}$. By this Eq. (3) gives

$$W = -\frac{1}{8\pi G}\left[V_0 \int_\sigma \frac{\partial V_i}{\partial n} d\sigma - \int_\tau D(V_i, V_i) d\tau\right] = \frac{V_0 M}{2} + \frac{1}{8\pi G}\int_\tau D(V_i, V_i) d\tau, \tag{6}$$

as a consequence of Gauss' theorem (Heiskanen and Moritz, 1967) applied to the first integral in the brackets of Eq. (6):

$$-4\pi G M = \int_\sigma \frac{\partial V_i}{\partial n} d\sigma \ . \tag{7}$$

According to Dirichlet's principle (*Kellogg*, 1929) the work $W = -E$ has some minimal value $W_{\min}$ if all masses are concentrated on the level surface σ when the gravitational potential $V_0 = \text{const}$ and the interior is empty. In this case the internal potential $V_i = V_0 = \text{const}$ represents the harmonic function inside the surface σ and leads to zero Dirichlet's integral in Eq. (6). Thus, the minimum amount of W becomes

$$W_{\min} = M \cdot V_0 / 2 \ , \tag{8}$$

and represents the solution of the variational Gauss' problem (Idelson, 1932). Substitution of Eq. (8) into Eq. (6) leads to the following basic formulae

$$E = -(W_{\min} + \Delta W) \ , \ \Delta W = \frac{1}{8\pi G} \int_{\tau} D(V_i, V_i) d\tau \ . \tag{9}$$

Thus, other kind of expression for E, given under the assumption that the boundary σ is a level surface, provides a simple estimation of $W_{\min}$ and remarkable treatment of the deviation ΔW from this minimal amount $W_{\min}$ as non-zero Dirichlet's integral when all masses are distributed inside τ according to an adopted density law.

Now we consider the application of Eq. (9) to the spherically symmetric density distribution $\delta = \delta(r)$ within the spherical Earth. In this case the gravitational potential $V_0 = \text{const}$ will coincide with the potential of a point mass and the potential $V_0 = GM / R$ of the surface distribution $\delta = \delta(R) = \text{const}$. By this Eq. (8) becomes

$$W_{\min} = GM^2 / 2R \ . \tag{10}$$

usually related to a homogeneous planet. The second term ΔW in Eq. (9) transforms to

$$\Delta W = \frac{4\pi}{8\pi G} \int_0^R \left(\frac{dV_i(r')}{dr'} \right)^2 r'^2 dr' = \frac{1}{2G} \int_0^R \left(\frac{GM(r')}{r'^2} \right)^2 r'^2 dr' = \frac{1}{2G} \int_0^R U^2 dr' , \tag{11}$$

where the gravity (gravitational attraction) $g(r)$ inside a stratified spherical Earth is expressed through the part of the Earth's mass $M(r)$:

$$\frac{GM(r)}{r^2} = -\frac{dV_i(r)}{dr} = g(r) \ , \tag{12}$$

$$M(r) = 4\pi \int_0^r \delta(r') \cdot r'^2 dr' \ . \tag{13}$$

Therefore, the gravitational potential energy of the spherically symmetric density distribution $\delta = \delta(r)$ becomes

$$E = -\left(\frac{GM^2}{2R} + \frac{1}{2G} \int_0^R \left(\frac{GM(r')}{r'} \right)^2 dr' \right) = -\left(\frac{GM^2}{2R} + \frac{1}{2G} \|U\|^2_{L_2[0,R]} \right). \tag{14}$$

The first term within brackets of Eq. (14) represents the minimal work of gravitation required to transport masses, having the total Earth's mass *M*, from a state of infinite diffusion onto the surface of a spherical planet with the radius *R*. Obviously, the mass $M(r)$ given by Eq. (13) represents the part of mass of the spherical Earth restricted by the radius *r*. In view of Eq. (9) or Eq. (11) the integral in the second term is bounded and can be treated through the norm $\|U\|_{L_2[0,R]}$ of the simple function $U(r) = GM(r)/r$ in the Hilbert space L_2 of square-integrable functions on the segment [0, *R*].

Estimation of the energy *E* based on the 3D density distribution

Let us consider according to Mescheryakov (1991) the mathematical model of the 3D global density distribution inside the spherical Earth having the radius *R* as the exact (restricted by the order 2) solution of the three-dimensional Cartesian moments problem rewritten here via the polar coordinates

$$\delta(\rho, \vartheta, \lambda) = K + \frac{\rho^2}{3R^2} \left(D_1 + D_2 P_{20}(\cos\vartheta) + \frac{D_3}{2} P_{22}(\cos\vartheta) \cos 2\lambda \right), \tag{15}$$

$$K = \frac{5}{4} \delta_m [5I_{000} - 7(I_{200} + I_{020} + I_{002})] = \frac{5}{8} \delta_m \left(10 - 7 \cdot \mathrm{Trace}(\mathbf{I})\right) , \tag{16}$$

$$D_1 = \frac{35}{8} \delta_m \left(5 \cdot \mathrm{Trace}(\mathbf{I}) - 6\right) , \tag{17}$$

$$D_2 = \frac{35}{2} \delta_m \left(A + B - 2C\right), \tag{18}$$

$$D_3 = \frac{35}{2}\delta_m (B - A) \ , \tag{19}$$

where δ_m is the mean density; $r = \rho \cdot R$ ($0 \le \rho \le 1$) is the distance from the origin of the coordinate system to a current point, ϑ and λ are the polar distance and longitude of this point.

Eq. (15) is given in the geocentric coordinate system of the principal axes of inertia ($\overline{A}$, $\overline{B}$, $\overline{C}$) and agreed with the Earth's mass M and all components of the Earth's tensor of inertia to preserve the external gravitational potential from zero to second degree/order and the principal moments of inertia. Mechanical parameters in Eq. (15) are expressed through the dimensionless Cartesian moments of the density of a gravitating body restricted by the order n=p+q+r=2:

$$I_{pqr}(\delta) = \frac{1}{MR^n}\int_\tau \delta x^p y^q z^r d\tau, \quad (p + q + r = n), \tag{20}$$

which for n=2 can be computed by means of the Earth's mass and the dimensionless principal moments of inertia A, B, and C normalized by the factor $1/MR^2$:

$$I_{000} = 1 \ , \ I_{200} = \frac{B + C - A}{2} \ , \ I_{020} = \frac{A - B + C}{2} \ , \ I_{002} = \frac{A + B - C}{2} \ , \tag{21}$$

where A, B, and C can be expressed via the 2nd-degree harmonic coefficients $\overline{A}_{20}$, $\overline{A}_{22}$ given in the principal axes system and the dynamical ellipticity H_D:

$$A = \sqrt{5}\overline{A}_{20} - \frac{\sqrt{15}\overline{A}_{22}}{3} - \frac{\sqrt{5}\overline{A}_{20}}{H_D} \ , \tag{22a}$$

$$B = \sqrt{5}\overline{A}_{20} + \frac{\sqrt{15}\overline{A}_{22}}{3} - \frac{\sqrt{5}\overline{A}_{20}}{H_D} \ , \tag{22b}$$

$$C = -\frac{\sqrt{5}\overline{A}_{20}}{H_D} \ . \tag{22c}$$

Eqs. (22) lead to the following relationship for the Trace(**I**) of the inertial tensor **I** or the mean moment $I_m = \mathrm{Trace}(\mathbf{I})/3$ of inertia

$$\mathrm{Trace}(\mathbf{I}) = (A+B+C) = 2(I_{200}+I_{020}+I_{002}) = \sqrt{5}\overline{A}_{20}\left(2-\frac{3}{H_D}\right) = 3I_m. \quad (23)$$

Thus, in the above formulae *x*, *y*, *z* are the Cartesian coordinates of an internal point; $d\tau$ is the volume element of the sphere R; $\overline{A}_{20}, \overline{A}_{22}$ are the fully normalized (non-zero) harmonic coefficients adopted here as Stokes constants in the Earth's principal axes system $O\overline{A}\overline{B}\overline{C}$. After transformation of Eq. (15) to the fully normalized associated Legendre's functions we get

$$\delta(\rho,\vartheta,\lambda) = \delta_{Roche}(\rho) + \Delta\delta_{3D}(\rho,\vartheta,\lambda), \quad (24)$$

where

$$\delta_{Roche}(\rho) = \frac{5}{8}\delta_m\big(10-7\cdot\mathrm{Trace}(\mathbf{I})\big) + \rho^2\frac{35}{24}\delta_m\big(5\cdot\mathrm{Trace}(\mathbf{I})-6\big), \quad (25)$$

$$\Delta\delta_{3D}(\rho,\vartheta,\lambda) = \frac{35}{3}\rho^2\delta_m\left[\overline{A}_{20}\overline{P}_{20}(\cos\vartheta) + \overline{A}_{22}\overline{P}_{22}(\cos\vartheta)\cos 2\lambda\right]. \quad (26)$$

Eq. (25) represents the Roche's radial density (*Marchenko*, 2000):

$$\delta_{Roche}(\rho) = a + b\rho^2, \quad (27)$$

$$a = \frac{5}{8}\delta_m\big(10-7\cdot\mathrm{Trace}(\mathbf{I})\big), \quad (28)$$

$$b = \frac{35}{24}\delta_m\big(5\cdot\mathrm{Trace}(\mathbf{I})-6\big), \quad (29)$$

where ($0 \le \rho \le 1$) is the relative distance from the origin of the coordinate system to a current point. Eq. (26) describes the deviation of the density distribution (24) from radial density profile, expressed only via 2nd degree harmonic coefficients of the external gravitational potential.

Initially we derive relationships for the internal potential V_i corresponding to this density law. Since the density (24) is separated on the two parts, the internal gravitational potential can be formed as

$$V_i = V_{Roche}(r) + V_{3D}(r,\vartheta,\lambda) = \int_\tau \frac{\delta_{Roche}(\rho)}{l} d\tau + \int_\tau \frac{\Delta\delta_{3D}(\rho,\vartheta,\lambda)}{l} d\tau \ , \quad (30)$$

where l is the reciprocal distance between a current points and the element of volume $d\tau$. According to (*Marchenko*, 2007) the internal potential $V_{Roche}(r)$ is expressed via coefficients given by Eqs. (28 – 29):

$$V_{Roche} = -\frac{\pi G}{15R^2}\left[10aR^2(r^2 - 3R^2) + 3b(r^4 - 5R^4)\right], \quad (31)$$

$$V_{Roche} = -\frac{\pi G\delta_m}{24R^2}\left[35\cdot \mathrm{Trace}(\mathbf{I})\left(R^2 - r^2\right)^2 - 2\left(45R^4 - 50R^2r^2 + 21r^4\right)\right]. \quad (32)$$

The computation of $V_{3D}(r,\vartheta,\lambda)$ leads to the expansion of the inverse distance $1/l$ into convergent series for external and internal current points. Making necessary manipulations with the mentioned series of external and internal solid spherical harmonics and entering the orthogonality relations for spherical functions we finally get

$$V_{3D} = \frac{2\pi G\delta_m r^2(7R^2 - 5r^2)}{3R^2}\left(\overline{A}_{20}\overline{P}_{20}(\cos\vartheta) + \overline{A}_{22}\overline{P}_{22}(\cos\vartheta)\cos 2\lambda\right). \quad (33)$$

Then, applying Eq. (1) to the 3D density model [Eqs. (24 – 26)] and the corresponding internal potential given by Eqs. (30 – 33) we can find the expression for the estimation of the potential energy E of the spherical Earth. It has to be pointed out that the orthogonality relationships for spherical harmonics allow the direct computation of the gravitational potential energy E in the evident form

$$E = E_{Roche} + \Delta E_{3D} \ , \quad (34)$$

$$E_{Roche} = -\frac{1}{2}\int_\tau \delta_{Roche}(r)V_{Roche}(r)d\tau \ , \quad (35)$$

$$\Delta E_{3D} = -\frac{1}{2}\int_{\tau} \Delta\delta_{3D}(r,\vartheta,\lambda)V_{3D}(r,\vartheta,\lambda)d\tau \ . \tag{36}$$

By this, after integration Eqs. (35 – 36) become

$$E_{Roche} = -\frac{5}{81}\pi^2 G\delta_m^2 R^5\left(7\cdot \mathrm{Trace}(\mathbf{I})^2 - 24\mathrm{Trace}(\mathbf{I}) + 36\right), \tag{37}$$

$$\Delta E_{3D} = -\frac{560}{81}\pi^2 G\delta_m^2 R^5 k_2 \ , \ k_2 = \overline{A}_{20}^2 + \overline{A}_{22}^2 = \sum_{m=0}^{2}(\overline{C}_{2m}^2 + \overline{S}_{2m}^2) \ , \tag{38}$$

where k_2 is the degree variance of the second order given initially in the principal axes system. It should be noted that k_2 represents the invariant characteristics of the Earth's gravity field, which are independent of linear transformations of the coordinate system and can be computed in the standard Earth's-fixed coordinate system. Therefore, the gravitational potential energy of the considered 3D density model as restricted solution of the Cartesian moments problem allows the expression for E consisting of two basic constituents. The first component, E_{Roche}, corresponds to the energy of the radial density distribution. The second component, ΔE_{3D}, is linked to the external potential harmonic coefficients of the 2nd degree/order describing in this way the contribution of global lateral density heterogeneities.

Model	$W_{\min}$	ΔW	ΔW_{3D}	E
Rubincam, 1979	–	–	–	–2.45
Homogeneous Earth	1.8687	0.3737	–	–2.2425
Legendre-Laplace model	1.8687	0.5965	–	–2.4652
Roche's model	1.8687	0.6101	–	–2.4788
Bullard's model	1.8687	0.6132	–	–2.4820
Gauss' model	1.8687	0.6386	–	–2.5073
PREM model	1.8685	0.6199	–	–2.4884
This study	1.8687	0.6101	3.41×10^{-6}	–2.4788

Table 1: Estimations of the gravitational potential energy E [ergs×10^{39}]

Therefore, according to the above mentioned approach and the basic equation (9) we finally get

$$E = -\left(W_{\min} + \Delta W_{Roche} + \Delta W_{3D}\right), \tag{39}$$

$$W_{\min} = 8\pi^2 G R^5 \delta_m^2 / 9 = GM^2 / 2R\ , \tag{40}$$

$$\Delta W_{Roche} = \frac{GM^2}{144R}\left[35\mathrm{Trace}(\mathbf{I})^2 - 120\mathrm{Trace}(\mathbf{I}) + 108\right], \tag{41}$$

$$\Delta W_{3D} = -\Delta E_{3D} = \frac{35GM^2}{9R} k_2\ . \tag{42}$$

It is easy to verify that $W_{Roche} + \Delta W_{3D}$ correspond to the second term in Eq. (9) because ΔW_{3D} gives zero contribution in the first term $W_{\min}$. With $\overline{A}_{20} = -484.1692924 \cdot 10^{-6}$, $\overline{A}_{22} = 2.8127085 \cdot 10^{-6}$, $\delta_m = 5.51483\,\mathrm{g/cm^3}$, $G = 6.67259 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{m^3 kg^{-1} s^{-2}}$, and R=6371 km the computation of the each term in Eq. (39) is straightforward. Table 1 lists estimations of the gravitational potential energy E for the well known radial density laws and E-estimate given by (Rubincam, 1979) for the spherical Earth differentiated into present-day core/mantle and considered as two homogeneous shells with different values of the mean density.

Thus, we get a suitable accordance between E-estimates derived from different continuous density distributions, the most widely used piecewise PREM model, and E-value from the discussed 3D continuous density as restricted solution of the three-dimensional Cartesian moments problem inside a spherical planet. All E-estimates are close to E=E_{Gauss} of Gaussian distribution that can be considered as reliable estimation of the lower limit of the gravitational potential energy E. It is evident that the contribution of lateral density heterogeneities ΔE_{3D} (corresponded to the adopted 3D density model) into E-value is insignificant in relation to the radial component (Table 1). According to Eq. (39) the estimation of the gravitational potential energy of a spherical planet can be made within three steps. The first one corresponds to the calculation of the minimal amount of the work $W_{\min}$. On the second step we determine the work $W_{\min} + \Delta W_{Roche}$ of gravitation to transport the masses M inside the spherically symmetric Earth. The third step involves the influence of global lateral density heterogeneities and gives the work of gra-

vitation $W_{\min} + \Delta W_{Roche} + \Delta W_{3D}$ to transport the masses M from a state of infinite diffusion to their 3D condition inside the planet.

References

Courant R., Hilbert D. (1951) Methods of the mathematical physics, Transl. in Russian, 2nd edition GITTL, Moscow – Leningrad

Gauss K.F. (1877). Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhaltnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs und Abstossungskrafte. Resultate 1840. „Werke“, Bd. V, 195-242.

Heiskanen W.A., Moritz H. (1967) Physical Geodesy, W.H. Freeman, San Francisco

Holota P. (1995) Two branches of the Newton potential and geoid, Proceed. of the International Symposium No 113 „Gravity and Geoid”, Graz, Austria, 1994, 205-214, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Idelson N.I. (1932). Theory of Potential with Applications to the Geophysics Problems. GTTI, Leningrag - Moscow. (in Russian)

Kellogg O.D. (1929) Foundations of potential theory, Springer, Berlin, 1929

Marchenko A.N. (2000) Earth’s radial density profiles based on Gauss’ and Roche’s distributions. Bolletino di Geodesia e Scienze Affini, Anno LIX, No.3, pp. 201-220

Marchenko A.N. (2007) The Earth’s global density distribution and gravitational potential energy. In: Sideris M. (ed.) Observing our Changing Earth, Proceedings of the 2007 IAG General Assembly, Perugia, Italy, July 2 - 13, 2007. International Association of Geodesy Symposia, Vol. 133, 483-491, Springer, 2009

Maxwell J.K. (1881) A Treatise on Electricity and Magnetism. 2nd Edition, Oxford, Vol.1

Mescheryakov G.A. (1977) On the unique solution of the inverse problem of the potential theory. Reports of the Ukrainian Academy of Sciences. Kiev, Series A, No. 6, pp. 492-495 (in Ukrainian)

Mescheryakov G.A. (1991) Problems of the potential theory and generalized Earth. Nauka, Moscow, 1991. 203 p. (in Russian)

Moritz H. (1990) The Figure of the Earth. Theoretical Geodesy and Earth’s Interior, Wichmann, Karlsruhe

Rubincam D.P. (1979) Gravitational potential energy of the Earth: A spherical harmonic approach, Journal of Geoph. Res. Vol. 84, No. B11, 6219-6225

Thomson W., Tait P.G. (1879) Treatise on Natural Philosophy, Vol.2, Cambridge University Press

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 41–50*

Prof. Dr. Gligorije Perović
University of Belgrade, Faculty of Civil Engeneering, Department of Geodesy, Bul. kralja Aleksandra 73, SR-11000 Belgrade, Phone/Fax: +381 11 3370293, Mob. phone: +381 64 3500336

Paper prepared for the Colloquium „Scientific Geodesy"
on November 14, 2008, at Berlin, on the occasion of the 75th birthday,
of Prof. Dr. techn. Dr. h. c. mult. Helmut Moritz, Graz

On inverse problems studied by Helmut Moritz and on his human activities

A) About stability of inverse problems

Abstract: The paper emphasizes Moritz's philosophical point of view, i. e. fundamental concepts concerning the inverse problems: *definitions*, *kinds*, *properties*, *indetermination problems* and *solution methods*. Further on, the universality of theory of inverse problems is presented through its application in various fields, first of all in Geodesy, then in Geophysics, Technology and Medicine. In this way the importance of Moritz's wide-scope and, certainly, deep views of these problems is emphasized. The paper points out the *main causes of ill stability* of the mathematical models by which we describe inverse problems. Also, *recommendations* have been made *what to do for the improvement of the model stability*.

Introduction

Any law of nature or, in some cases, of social development, can be expressed as a description of the character or structure of mutual relations existing among the considered *phenomena* (*systems*, *processes*, *objects*) called *variable quantities* or, briefly, *variables* (Perović, 2005, Aivazyan et al., 1985). Any relation of this kind can be described by a *mathematical model*. For example, Newton's laws of mechanics and, based on them, all classical mechanics form

a set of models of mechanical phenomena. Maxwel's equations in physics give rise to mathematical models of electro-dynamical phenomena, etc.

However, there are also such phenomena for which, in principle, it is impossible to construct a model in a purely mathematical way. As an example we have a human being or a human collective performing some functions, an institute, economy branch, economics and so on. However, the actual progress of science and technology requires the formation of mathematical models for such systems as well (Perović, 2005).

In general, we wish to describe every considered phenomenon (system, process, object) by means of an adequate mathematical model, linear or nonlinear. This is because it is the best way to make an analysis of the phenomenon, and likewise the presentation of the results achieved.

It is to such tasks that inverse problems belong.

Moritz particularly discusses inverse problems, primarily in Geodesy (Moritz, 1989, 1990, 1993a, 1993b), but also, in Geophysics, Technology and Medicine (Moritz, 1993b).

Tikhonov and Arsenin (1977) provided the methods for solving Ill-Posed Problems. Anger (1993) also considers the Basic Principles of Inverse Problems.

Perovic investigated inverse problems in the following fields: *in geodetic networks* (Perović, 2001, Perović et al. 2006b), *aircraft laser scanning* (Perović, 2006a, 2007), and geodetic measurements – in which he examined *variance components* of angles, distances, height differences (geometric and trigonometric levelling) and GPS positioning (Perović, 2007, 2008; 2005, Chs. 21 and 32). Besides, he dealt with *mathematical model stability*, especially linear (Perović, 2005; Chs.: 2, 6, 7, 8, 11, 21, 23-29, 32, 34, 36-39).

An exhaustive review of the papers about inverse problems in different fields can be found in Anger et al. (1993).

The main points of inverse problems

In his introductory paper „*General Considerations Regarding Inverse and Related Problems*" Moritz (1993b) discusses all of these problems, expounding his philosophical view, in mathematical sense divides them into *direct* and *inverse* problems, and for inverse problems states the fundamental concepts: *definitions, kinds, properties, indetermination problems* and *solution methods*. This classification into direct and inverse problems is substantial because solutions of direct problems are uniquely defined, while *for inverse*

problems there may be infinitely many solutions or no solutions at all. Other differences between these two problems will be discussed furter on.

For a mathematically properly posed problem to correspond to reality the following basic conditions (Hadamard's (1902) conditions) must be satisfied (Moritz, 1993b):

1. *Existence* (The solution must exist);
2. *Uniqueness* (The solution must be uniquely determined by the data), and
3. *Stability* (The solution must depend continuously on the data).

These conditions satisfy direct problems.

If one or more of these requirements are violated, then we have *improperly posed*, or *ill-posed problems*. In fact, *most inverse problems are improperly posed*.

Consider the following symbolic expression

$$g = Af \quad , \tag{1}$$

where A denotes *operator* which acts on f and produces g. Mathematically, g is a (generalised) *function* of g. Operator A may be linear or nonlinear.

The *direct problem* is described by equation (1) and we shall assume that *the operator A* of the *direct problem is stable*, i. e., that „*small causes have small effects*".

Solving (1) formally by

$$f = A^{-1}g, \tag{2}$$

where A^{-1} denotes *inverse operator* which acts on g and produces f, we get an *inverse problem*. According to Moritz (1993b), we have the following *classification*:

Given	To be Determined	Kind of Problem
A, f	g	Direct Problem,
A, g	f	Inverse Problem of First Kind, and
f, g	A	Inverse Problem of Second Kind.

Moritz (1993b) also adduces examples from different fields:

- *For direct problems*: a linear transformation, the Newtonian potential, a computer program, projection, the evaluation operator, classical mechanics and deterministic chaos;
- *For inverse problems of first kind*: linear vector transformation, gravimetric inverse problem, interpolation, photogrammetry, tomography and human perception, and
- *For inverse problems of second kind*: determination of transformation matrix, symmetric matrix, rotation matrix, system parameters (physical, technological etc), determination of physical law, statistical test of hypotheses, diagnostics in medicine, induction: verification and falsification of hypotheses and boundary value problem of geodesy.

Besides these, there are many other tasks of inverse problems. One can mention the following: variance component estimation of measurements in order to define the measurements method precision, the determination variances of particular variables in order to obtain given variance of function of these variables, optimisation of geodetic networks, the determination of the orbital elements of binaries, etc.

Moritz (1993b) states that inverse problems of first kind are overdetermined, or both – overdetermined and underdetermined problems. The overdetermined problem is ill-posed, but, the introduction of "least squares" makes the problem well-posed.

Generally, inverse problems don't satisfy one or more Hadamard's conditions concerning properly posed problems, so that we have an *improperly posed*, or *ill-posed problems*; although there are properly posed problems, for instance *rotation matrix*.

Scientists use the terms "*improperly posed*" or „*ill-posed*". These terms mean that the considered process *is not described by adequate* (*mathematical*) *model*. Why does an inadequate model occur? For one thing because in most cases *we don't know the structure* (*system*) *parameters of the considered process*; thus they are unknown to us because we have not the „key" by which we could „unlock and peer into the interior of the process" and in that way we could see, i. e. we would be informed on, the process structure. After that we could describe the process by an adequate mathematical model. However, there also exist other causes of ill condition of system (see the next Section). Also, given the technological progress, new possibilities occur every day.

In addition to ill condition, mathematical and numerical solutions to inverse problems play an important role. However, they have been well studied and will not be dealt with here, we shall point out only the fact that the present

author has found out several *new methods of solving non-linear problems*, published in the monograph Least Squares (Perović, 2005). The methods are as follows: *PERG non-linear LS* (Sec. 38.3), *The PERG Singular Non-linear LD Method* (Subsec. 38.4.1) and *The PERG Singular Non-linear LS Method* (Subsec. 38.4.2).

The main causes of unsatisfactory solutions

We said that inverse problems are *ill stable*, which is the principle cause unsatisfactory solutions. But we are also infrequently in a situation that the mathematical model is adequate but the solution is unsatisfactory. The cause of this is the *ill stability* of the mathematical model that may occur out of a number of reasons. The reasons are as follows.

1) *Some parameters of the system are almost co-linear* in the mathematical model. In that case there is nearly functional dependence of the corresponding parameters of the model. For example, if the orbit period of the binary is 200 years, and we conducted these measurements at the time interval of 20 years after every fifth year (there are 5 measurement points), then this will be the ill-posed linear system (after linearising), although the model is quite adequate (the orbit is eliptical one), since we made measurements only at 1/10 of the orbit. The condition number of the matrix of the normal equations is of the order of 10^3-10^4, so that the propagation of errors is large, and the error estimate of the large ellipse axis will be of the order of 1-5″.

2) *The large measurement errors*. In that case system parameter estimates can deviate much from the exact values. An example. Suppose the major axis of the binary orbit of a is 0.5″, while the precision of the speckle interferometry observations is of order of 0.01″ (Scardia et al.), that is, of the order of 10^{-2} with regard to the major orbit axis. Then, even under the condition of a good geometrical stability of the model the errors of the estimated parameters will be of the order of 10^{-2}, and larger.

3) *A small number of measurements*. This will not lead to the satisfactory accuracy of system parameter estimates, not even by *the application of the asimptotic sampling theory*. Thus, in many applications of tomography to the problems of science and industry the number of data is small, say 20 – 200 (Natterer, 1993), in which case the system parameter estimates will not be reliable nor accurate enough.

4) *The irregular systematic errors in measurements*. Then:

4a) *To decrease the influence of the irregular systematic errors it is necessary to significantly increase the measurement interval*. Thus, when examining the accuracy of the relative GPS positioning, on the basis of 72 hour measurements of the basic vector „Kragujevac-Batočina" (Serbia) 20.7 km in length, for the coordinate difference according to φ the present author got random errors standard $\sigma_{\varepsilon,\varphi} = 8.0\,\text{mm}$, and systematic – variable in time (Tropo + Iono) $\sigma_{\delta,\varphi} = 6.7\,\text{mm}$, where the variable errors are randomized only in the large measurement interval T – larger than 2 hours; accordingly, $(T \geq 2)$, which yields:

Measuring Interval, T :	0 h	2 h	8 h	24 h
$\sigma_{\delta,\varphi(T)}$, mm:	6.7	3.3	1.7	1.0 ,

while the random errors after 0.5 hour of measuring reduce under 1 mm;
4b) The application of asymptotic sampling theory yields better results if there are no these errors. Therefore *the irregular errors should be eliminated or their influence should be reduced*;
5) *The presence of the contaminating distributions* (as a result of larger random errors). These influences can be successfully reduced by means of the application of *robust methods*.

Recommendations for the improvement of the model stability

To have well posed and stable inverse problems the present author recommends the following:
I. At first, *the structure of an inverse problem should be well studied*, i. e. *adequate functional relationships between phenomena parameters should be established*, and after that any other theory is to be applied. This is usually a long and painstaking task, quite often an expensive one, too;
II. To *optimise the geometry* of the mathematical model and consequently *to make a better model stability*. We have to study the way of constructing of linear or non-linear model and find out the optimal, or at least acceptable, model geometry;
III. *To apply robust methods* for the elimination or for reducing the effect of gross errors.
IIIa) One of these methods is „*Robust PEROBLS 3 Method of Least Squares*" (Perović, 2005, Ch. 21, Sec. 21.5). The properties of the Robust PEROBLS 3

Method are: 1) Unbiasedness of estimates for model parameters, for corrections and for variance coefficient, 2) Correct degrees of freedom number, 3) Applicability for both known and unknown variance coefficient, 4) Stability of estimates, 5) The cofactor matrices of parameters and corrections estimates are calculated according to exact formulae, and 6) The hypotheses testing can be also done following the standard LS procedure, without any modifications;
IIIb) For *the estimation of variances of both distributions*, the basic and the contaminating one, for measurements of the same precision good results are yielded by the method „*Robust PEROBVC ML Method of Variance Estimating in the Tukeyan Mixed Distributions of Empirical Variances*“, (Perović, 2005; Ch. 32, Sec. 32.14);
IV. Specially, *the irregular systematic errors in measurements should be well studied*, *and*, *also*, *the ways of reducing its influence in measurements*; for example by increasing the measuring time interval, and
V. Significantly *to increase a number of measurements*, in order to detect gross errors more reliably and in order to apply *the asimptotic sampling theory*.

References

[1] Aivazyan, S. A., Yenyukov, I. S., Meshalkin, L. D., *Applied Statistics - Study of Relationships*, (in Russian) Finansy i statistika, Moscow, 1985.
[2] Anger, G., Gorenflo, R., Jochmann, H., Moritz, H., Webers, W., Eds, *Inverse Problems: Principles and Applications in Geophysics, Technology and Medicine*, Proceedings of the International Conference held in Potsdam, August 30 – Sept. 3, MATHEMATICAL RESEARCH, Vol. 74, Akademie Verlag GmBH, Berlin, 1993.
[3] Anger, G., *Basic Principles of Inverse Problems*, (in: Anger et al, 1993), pp. 24-36, 1993.
[4] Moritz, H., *Advanced Physical Geodesy*, Herbert Wichmann, Karlsruhe, 2nd ed., 1989.
[5] Moritz, H., *The Figure of the Earth*, Herbert Wichmann, Karlsruhe, 1990).
[6] Moritz, H. and Hofmann-Wellenhof, B., *Geometry, Relativity, Geodesy*, Herbert Wichmann, Karlsruhe, 1993a.
[7] Moritz, H., *General Considerations Regarding Inverse and Related Problems*, (in: Anger et al, 1993), pp. 11-23, 1993b.
[8] Natterer, F., *Tomography with Few Data*, (in: Anger et all, 1993), Akademie Verlag GmBH, Berlin, 275-283, 1993.
[9] G. Perović: "*About PERG Strategy for Geodetic-Network Optimization*", Proc. of the International Workshop of Geodesy in South-East Europe held in Dubrovnik,

May 2-6, 2000, in: Moritz, H., Medak, D., and Pribićević, B., Eds., Mitteilungen Der geodätischen Institute der TU Graz, Folge 89, Graz, 2001, pp. 81-99.

[10]Perović, G., *Least Squares*, Monograph (In English), Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 2005.

[11]Perović, G., *PERGFLIMAP Method Possibilities of Increasing the Absolute Vertical Accuracy of the Laser Scanned Points Obtained by FLI-MAP System Applied on Hard Topography*, Proc. of Int. Symp. INTERGEOEAST held in Sofia 09-10 November 2006a, pp. 370-377.

[12]Perović, G., Sušić, Z., Anđić, D. And Djurović, R., *PERGELTOR method of integrating GPS measurements and trigonometric networks*, Proceedings of Int. symposium INTERGEOEAST, Sofia, 09-10 November, 2006b, pp. 38-44.

[13]Perović, G., *Precise Geodetic Measurements*, Monograph 2 (in Serbian), Faculty of Civil Eng., Belgrade, 2007.

[14]Perović, G., *The PERG method of noise dispersion estimation in relative GPS positioning*, Proc. of Int. Symp. INTERGEOEAST, Belgrade, 19-20 February 2008.

[15]Scardia, M., Prieur, J.L., Pansecchi, L., Argyle, R.W., Sala, M., Basso, M., Ghigo, M., Koechlin, L. And Aristidi, E., *Speckle observations with PISCO in Merate: IV. Astrometric measurements of visual binaries on 2005*, AN **329**, No. 1, pp. 54-68, 2008.

[16]Tikhonov, A.N. and Arsenin, V.Y., *Solutions of Ill-Posed Problems*, Wiley, New York, 1977.

B) On Humane Activities of Helmut Moritz

Abstract: Helmut‘s absolute readiness to help the people in need of assistance is hereby described. He has not only helped those who ask him for this, but has offered assistance immediately to those he finds to be in need of assistance. He is described as a person with absolutely positive energy; more precisely as a *person with no negative energy*. *He is exactly the person preached about in the Holy Scripture* !

When a scientist has mastered beautifully in fundamental area of his sphere, like for instance inverse problems, then he is able to comprehend the universality of that theory and to apply it to unrelated fields, just as Helmut Moritz has shown that the theory of inverse problems is applicable in Geodesy as well as in Geophysics, Technology and Medicine. It is one of sure – moreover sufficient, signs that tell of a great scientist, such as Gauss, Helmert, Krasovski and Tesla, to mention just a few. Such scientists are also great humanists.

We can say quite a lot about Helmut’s humanity and his character’s features. But, one should be a great writer, such as F. Dostoyevsky, to be able to

write something about the person of Helmut Moritz. But, since I am not such a person, I will try on the basis of our constructive personal contacts and frequent long-time correspondence and telephone conversations, to present only a few of my observations on Helmut's humane person.

Those who seek his assistance get it at once. As a guest of the Institute for Geodesy in Belgrade in 1986, Helmut was asked to review a doctoral dissertation of a colleague. He read the dissertation during the following night (Helmut can speak and has the knowledge of the Serbian language) and the next morning he gave to the above-mentioned colleague some suggestions and remarks. On my request he immediately accepted to be a reviewer of my monograph Least Squares, for both texts – in English and in Serbian. During the bombing of Serbia and Belgrade in 1999 he accepted without thinking to assist a student of the post-graduate studies at the Electrical engineering in Belgrade with regard to the doctoral study in Vienna (previously the company SIEMENS where she is employed moved to Vienna); just imagine how long I had waited for his positive answer – less than two hours; assistance was, of course, warmheartedly given. And not only once!

He gives his assistance kindly, as soon as he sees that one is in need of help. Prior to the Conference of IAG in Birmingem in 1999, Helmut asked me over the phone: „Gligorije, what do you suggest to me to do about Yugoslavia (she could have been dismissed from membership due to non-paying of the membership fee)". I gave him a proposal, and on the second day of the Conference I received a fax from him: „Gligorije, I have made it, Yugoslavia has not been ejected from the membership, and the category of the non – paying members has been introduced, so that Yugoslavia has been included into that category". In the course of bombing of Serbia and Belgrade in 1999 Helmut encouraged us almost every day, his colleagues in Belgrade: „It will pass", „big powers will make a deal", „there are people who are on your side (he sent me a clip from a paper with an article written by a catholic priest)", etc., promising me that at the close of bombardment, he will come to Belgrade at his own expenses and will give several lectures as help to his colleagues in Belgrade. Of course, he was true to his word. In 2000, he organized a Workshop (of course, with his associates from Europe: Grafarend, Sünkel, Hofmann-Wellenhof, and others) in Dubrovnik under the sponsorship of IAG, as an assistance to his colleagues of the South-East Europe. As soon as he reviewed the Serbian text of my monograph Least Squares he immediately made a proposal and financial aid for the book to be translated into English, etc.

I want to emphasize that Helmut Moritz‘s assistance to Vladeta Milovanović in 1967, the then assistant at the Belgrade University, in order to accept the theme of Ph. D. Thesis was important for the Serbian Geodesy. Milovanović's idea appeared contrary to the point of view of other European geodesists, but, he was supported by Helmut Moritz and Rudolf Sigl. After their support the topic of the thesis was accepted and finally it appeard that Milovanović was right. This launched the Serbian Geodesy into the European orbit.

He gives assistance absolutely wholeheartedly: An extract from Helmut‘s review of the Monograph Least Squares: „Must confess, my nerves are not in the best shape. So I worked under pressure and I was not so polite as I like to be. But I think I was able to help you with the English style, and help is more important than politeness”. Even after my oral proposition he helps young colleagues from Serbia to complete their doctoral thesis in the European countries.

He pays attention to everything and is observant of everything: „that the examples be chosen carefully“, ... „that the book looks nicely“, ... „that the right theme has been selected in an article“, etc.

In a specially sophisticated and correct way he pays attention: „You are such an idealist …” - since I had to do everything concerning my book Least Squares myself, even to be its publisher; or, in reviewing the Least Squares: „English translation. Now since I know that the translator is responsible for the mistakes, I will correct much more severely and completely, without fear to offend you”, …

Of course, there is *Helmut‘s humanitarian activity*: He is a member of the Humanists League in Sarajevo (Bosnia and Herzegovina); member of the Humanists League in Banja Luka (Republic of Srpska - Bosnia and Herzegovina), ...

Helmut? Precise to the perfection. A human having positive energy only. *For this real world he is completely unreal. He is exactly the person preached about in the Holy Scripture*!

I shall use saying of my – Serbian people: „*Helmut, God save you, and let you live another 100 years*“!, to the benefit of Science, and your friends, and, certainly, of your family.

References

Personal communications with Helmut Moritz.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 51–55*

Bogdan Ney[1]

Integration of geoinformation

Motto: Professor Helmut Moritz is a pre-eminent, world-class geodesist and geophysicist who has made an everlasting personal contribution to the study of our Earth as a planet. His greatness as a scientific leader in the field of Earth sciences, as confirmed both by his outstanding achievements in research and his dedicated service in the highest posts of international scientific organizations, has never clouded his shrewd attitude towards the practical functions of geodesy in advancing human civilization. Prof. Moritz has moreover always impressed me with his greatly sophisticated thoughts and deliberations, weaving a fascinating panorama of the philosophy of the Earth sciences. It therefore gives me great pleasure to dedicate this modest sketch, mainly addressing functional aspects of the study of the Earth and the geographical environment, to our Brilliant Master and Friend on the occasion of his anniversary.

Introduction

The theory and practice of geoinformation systems (GIS) now stretch back several decades. In the latter half of the 20th century the GIS field witnessed intensive development, one might even say it *flourished*. The systematic processing of geographic information – i.e. information about the Earth in the broadest sense, thus the term "geoinformation" – became possible mainly thanks to the emergence and rapid advancement of information technology, or IT. The two fundamental pillars upon which IT rests, mathematics and electronics, likewise laid the foundations for the dynamic development of GIS. These two fundamental fields stem from differing *origins*.

1 Geodesist. A graduate of the AGH University of Science and Technology in Krakow (1957). Professor, doctor of engineering sciences, doctor honoris causa (2 x), member of the Polish Academy of Sciences (PAS) since 1986. Chairman of the PAS Division for Earth and Mining Sciences since 2003. Academic teacher at AGH (1957-1974), director of the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw, 1974-1991. Chairman of the Scientific Council of the Institute of Geodesy and Cartography (since 1996). Former chairman of the Polish National Committee for IUGG and IAG.

Mathematics is a *classical* field of science that has long been a subject of study, enjoying success long before the potential *advent* and development of IT. Already in ancient times mathematical knowledge enabled mankind to calculate the shape and dimensions of the Earth, which was of course an *early* precondition for the further development of knowledge about our planet and its position within the wider Universe. Recent discoveries in North Africa have evidence that around 4,000 BCE, long before the heyday of planimetry (*planar* geometry) in Greece, mankind already knew how to solve triangle problems, a crucial skill for keeping a kind of land cadastre. Nowadays, too, such cadastral records constitute an important component of GIS – or on a local level, even its core element.

Electronics, on the other hand, is a new (young) field, which saw its foundations laid in recent centuries and which developed in the past few decades. It forms the technological basis for modern telecommunications, key for the development and functioning of geoinformation of arbitrarily broad scope. Without electronics and without telecommunications it would not have been possible to *conquer space* and to launch into orbit the satellite systems that have given GIS two fundamental new capabilities. The first such capability involves methods and techniques used on the Earth's surface based on satellite technologies (i.e. GPS and other systems), while the other capability involves the recognition and study of terrestrial objects, the positioning of points and therefore of entire objects and phenomena on the Earth's surface – and to a certain extent also under the surface and in the atmosphere – using imagery obtained from satellites. This latter capability is called satellite remote sensing.

Geoinformation has already developed an extensive body of research literature and popularizing literature, as well as numerous fields of widespread practical application.

The role of integration

The thematic scope of information about the Earth and our geographical environment, as is well known, is very broad (wide, large). Moreover, typical complications arise from the following circumstances:

- the nature of the input data and information used in GIS, which can generally be divided into two classes. The first embraces *hard* information, pertaining to relatively stable objects, of fixed or free position within geographic space. The second category of data and information is of a *soft* nature, it pertains to objects of imprecise shape/outline and highly variab-

le (dynamic) position, or more precisely motion, in space;
- the desirable, logically motivated precision of identifying position in geographic space;
- the frequency of collecting the input data and information for GIS (measurements, registration, observation, database entries);
- the large number of institutions participating in collecting, processing, and tailoring input information for GIS. The main institutions processing geoinformation are as follows: public geodesic services (central and local governmental); surveyors licensed to perform geodesic work; geodesic research units; public agencies of a geological, hydrological, hydrogeological, and geophysical nature plus research units and licensed specialists in these same fields; public agencies dealing with meteorology, agriculture, forestry, urban planning and statistics; and – *last but not least* – environmental inspection and protection services.

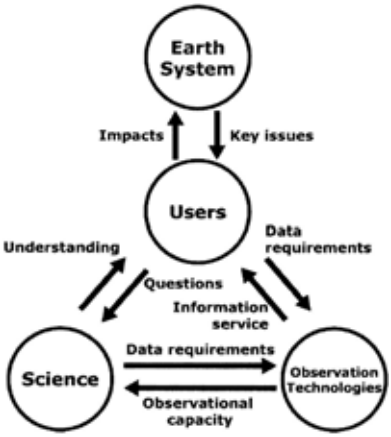
In tandem with this multiplicity of authors of geoinformation, there is likewise a multiplicity of geoinformation users. The point is that the *end* users of GIS frequently are not – and cannot or should not be – the authors and suppliers of geoinformation. The end users of GIS expect *integrated information*, because predominantly only such information is full-valued (*holistic*) and – perceived comprehensively – only such information meets users' needs. This is an opinion I base on my own experience as well: in 1994 I directed work on developing a preliminary concept for national GIS in Poland; in 1998-2001 I participated in extensive work on a concept for GIS, the results of which gained recognition at a European conference held in Potsdam in 2001; and during the decade 1994-2003 I organized a cycle of annual conferences on national GIS *in practice*. I am currently coordinator of the "Geoinformation" Research Network drawing together 4 Institutes of the Polish Academy of Sciences and 9 ministerial institutes.

The GEOSS Program – Global Earth Observation System of Systems

This program of worldwide scope, actively developed for five years now, was conceived as a integrator of programs in various areas addressing the main segments and factors in the progress of civilization that are related to the Earth and its geographical environment. GEOSS integrates the following objectives and areas: DISASTERS – reducing the toll of lives taken by natural disasters and the economic aftermath of natural catastrophes; HEALTH – the impact of environmental factors on health and well-being; ENERGY – the de-

velopment and improvement of energy resource management; CLIMATE – diagnosing, forecasting, and reducing climactic impacts and adapting to them; WATER CYCLE – water resource management; WEATHER – diagnosing and forecasting the weather; ECOSYSTEMS – managing and protecting ecosystems; AGRICULTURE – supporting sustainable agriculture; BIODIVERSITY –monitoring and preserving biodiversity; COMMONALITY ANALYSIS – general problems of collecting and using spatial information.

The scheme by which integrated geoinformation functions and is utilized is depicted in the accompanying figure.



Other programs – GMES, INSPIRE

Global Monitoring for Environment and Security, or GMES, is an EU program that has been in operation since 2001. It is geared towards observing and evaluating the natural environment in terms of its condition, safety, and its impact on the conditions of human life. This program integrates all fields and agencies competent on such issues. In Poland, there is particularly close collaboration between the State Environmental Protection Monitoring service (under the Ministry of the Environment), the ministerial Institute of Geodesy and Cartography, and the Space Research Centre of the Polish Academy of Sciences. A particularly great role in this program is played by the methods and techniques of Satellite Remote Sensing.

INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in the European Community

The objective of this EU program, currently in the implementation stage in the EU member states, is to establish a common infrastructure that will ensure the substantive and technological compatibility of GIS in the EU. Work in the individual countries is based on a directive adopted by the European Parliament and Council of the EU on 14 March 2007. This directive is meant to be transposed into the national legal systems no later than the third quarter of 2008. Work now underway in Poland, mainly of a legal nature, concentrates mainly on preparing the draft of a national law that will be subsequently fleshed out by executive degrees. It is obvious that the Earth sciences, including geodesy, have an important place and great role to play in the implementation of that directive, especially through metainformation.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 57–63*

Juhani Kakkuri
Finnish Geodetic Institute
Geodeetinrinne 2, P.O.Box 15 FIN-02431 Masala, Finland

Veikko Heiskanen and Helmut Moritz

Ladies and Gentlemen,

I will tell you about a great scientist, who was an active member of numerous scientific societies and a member of many a scientific academy such as the Oslo Academy, the Berlin Academy, the Bologna Academy, the Academia Nazionale dei Lincei in Rome, the London Geological Society, the American Arts and Sciences in Boston, and the Pontificia Academia Scientiarum at Vatican. He was also an honorary president of the Royal Dutch Geographical Society, of the Council of the International Association of Geodesy and of the Nordic Geodetic Commission. In addition, he received the academic degree of honorary doctor from the University of Bonn, from the Helsinki University of Technology, from the University of Uppsala, and from the Ohio State University for major contributions to geodesy and isostasy and innovative geodetic research. Who was that man?

Life

This man, Veikko Aleksanteri Heiskanen, was born in a petty farmer's family in the small village of Harjuranta, in the lake district of Eastern Finland in 1895, the ninth and youngest son of Heikki Heiskanen and his wife Riikka Jurvanen. His birthday is in fact not exactly known. In the church records it is registered as having been on July 2nd. But when his mother saw this birth certificate, she asserted that her son was born on a hot summer day around St. James day, which is on 25th of July, and the family began to celebrate July 23rd as Veikko's official birthsday.

Veikko Heiskanen attended elementary school in his home village just in beginning of the 20th century. A couple of years later, strongly encouraged by his teacher, his parents were bold enough to send their little son as far as one hundred kilometres from home to attend secondary school – the lyceum in the small town of Savonlinna. From Savonlinna Heiskanen moved further to Helsinki to continue his studies at the University, and after less than three years of study he was awarded the degree of Candidate in Philosophy, with the highest grades in as many as five subjects: physics, astronomy, mathematics, theoretical philosophy, and political economy. In addition, he studied chemistry because he was aiming at a post of a teacher in mathematics.

Veikko Heiskanen's first post was at the Finnish co-educational school in St. Petersburg, Russia, where he tried to teach mathematics in the winter of 1917 to 1918. Finland was at that time the Grand Duchy under Russian rule. That was the time of the great socialistic revolution in Russia. In the confusion of the revolution, Heiskanen was imprisoned, but wading secretly across Rajajoki, a river between Finland and Russia, he was able to return to his homeland as a refugee.

Under the Russian rule the geodetic surveying and mapping of Finland was taken care by Russian military topographers. On July 5th, 1918, seven months after Finland had become an independent state, the Government of Finland established the Finnish Geodetic Institute. The main task of the institute was defined to be the first order triangulation with the geodetic and astronomical measurements for the purpose of national mapping. The second task was defined as pure scientific research: it was to promote the solution of problems connected with its practical work, to investigate geoid-related elements and to follow closely the development of geodesy.

The first director of the Finnish Geodetic Institute was Ilmari Bonsdorff, an astronomer who returned to Finland from the Pulkovo Observatory close to St. Petersburg. Soon after the appointment, Bonsdorff started to search

young talents for the Institute. In this he succeeded excellently, as he managed to catch e.g. Yrjö Väisälä, an astronomer who later became famous for the interference comparator developed for standard baseline measurements and the stellar triangulation for worldwide transcontinental triangulations. Soon also Veikko Heiskanen wandered in, becoming in September 1921 a civil servant at the Institute. In the Institute Heiskanen had to learn many new skills, and he had to take part in the field work. Later he recalled in his past memories that he preferred to spend his summers by building triangulation towers rather than carrying out time-consuming observation work, because then he had more free time for his own research.

In 1931, Heiskanen was appointed as Professor of Geodesy at the Helsinki University of Technology. The handling of responsible official duties at University in no way interrupted Heiskanen's research programme, which featured, in addition to the study of isostatic problems, also prominently research in the field of physical geodesy. Around his research assistants and young scientists supported by grants, an actively operating research institute was established. In 1936 it received from the International Association of Geodesy the official status and name of Isostatic Institute. Under the name of this institute, until 1965, 49 publications were published.

When Professor Bonsdorff retired in 1949, Heiskanen succeeded him as the director of the Finnish Geodetic Institute. At that time, in the aftermath of the Second World War, financial resources were very limited in Finland, and in addition, it was difficult to get maps necessary for isostatic research and extremely difficult to obtain gravimetric data financed by private industry abroad. Therefore, Heiskanen turned to the United States of America for help.

His inquiries gave an unexpectedly positive result: a suitable post was found at the Mapping and Charting Research Laboratory of the Ohio State University. In 1951 Heiskanen was appointed a research professor at this laboratory and supervisor of the global gravimetric mapping project. He had to start practically from scratch, furnishing his new department with instruments, curriculums, teachers and students. After his very first months in Columbus, Heiskanen was asked to arrange courses of lectures in advanced geodesy and related subjects. This kind of combination had never been available at any American university. American geodesists had until then, like Heiskanen himself, received their specialized education only at research institutes as well as in the actual practical work.

In 1951, the Institute of Geodesy, Photogrammetry and Cartography was set up at the Ohio State University. Heiskanen was its scientific director, and since 1953 also its executive director, until the institute was incorporated into the independent Department of Geodetic Science founded in 1961.

Not only from the United States of America, but also from numerous other countries, talented geodesists were invited to the Ohio State University to help Heiskanen in research as well as in teaching. Many of them settled permanently in Columbus and took care of teaching and research work after Heiskanen. Thanks to them, the Ohio State University has been since Heiskanen's days up to the present day a brilliant international center of geodetic research and education.

A scientist

According to his own words, Veikko Heiskanen had four loves in his life: the first of them was astronomy, the second, in chronological order, his wife Kaarina, the third was geodesy and the fourth the World Geodetic System.

Because of his first love, Heiskanen spent the winter 1920 to 1921 in Potsdam, Germany, for studying astronomy, physics and geophysics under Professor Ludendorff. In Potsdam he wrote his first scientific papers. Among them was also a manuscript published under the title *Über den Einfluss der Gezeiten auf die sekuläre Acceleration des Mondes*, treating the influence of the ocean tides on the orbital motion of the Moon.

The first director of the Finnish Geodetic Institute, professor Bonsdorff, had written his doctoral thesis in the field, which studied the isostatic balance of the Earth's crust, and so perhaps he gave to young Heiskanen the stimulus to start studying isostasy. There were two alternatives in isostasy: either mountains had risen from their substratum like dough, in which case their density would be inversely proportional to their height (Pratt model), or continents floated on top of fluid internal matter like ice floes on the ocean, in which case the higher a mountain was the deeper would be its roots (Airy model). Heiskanen considered Airy's model to be more natural and began to develop it. He would soon demonstrate that if one chose a suitable value for the thickness of the Earth's crust, Airy's theory would be at least as workable as the Pratt's theory. Heiskanen put Airy's model into mathematical form and used the first results as a basis for his doctoral thesis published in 1924 under the title *Untersuchungen über Schwerkraft und Isostasie*. Later he calculated and published maps showing the thickness of the Earth's

crust in different parts of the world. These calculations have decisively been confirmed only much later by deep seismic soundings.

In 1931 Heiskanen became convinced that the shape of the Earth could be pictured in detail, using the gravimetric geoid, computed with the aid of Stokes' formula from available gravimetric material. According to him, the most important scientific mission of geodesy was to determine the dimensions of the reference ellipsoid and to compute the detailed form of the geoid. Therefore he proposed to his research assistant at that time, Reino Hirvonen, that he would write his doctoral thesis on gravimetric methods for determining the geoid. Hirvonen followed the advice of his supervisor, and when the dissertation *The Continental Undulations of the Geoid* became ready in 1934, Heiskanen was satisfied, as the results of the work were both important and promising. Hirvonen was the first to apply Stokes' formula to the calculation of the gravimetric geoid. In spite of the incomplete global coverage of the gravity material used, Hirvonen was able to show that the geoid can deviate from the reference ellipsoid only a little, on the average ±50 metres.

Heiskanen's other assistant, Lauri Tanni, who worked at the Isostatic Institute, continued Hirvonen's studies. In 1948 he published a study that came into widespread use: *On the Continental Undulations of the Geoid as determined from the present gravity material*. The gravity material available to Tanni consisted of some 13 000 pendulum points and thousands of gravimetric points. Most of them were on land. In spite of the deficient global coverage of the gravity material, the main features of the figure of the Earth were clearly visible in Tanni's geoid and in their right places.

At the start of his American career, Heiskanen presented his views and plans for solving the fundamental problems of geodesy in his publication *The World Geodetic System*. To realize this, a worldwide project was set up. This program had many goals: 1) to gather all relevant gravity data in Ohio for computing a global geoid and deflections of the vertical, 2) to check the dimensions of the Earth, 3) to merge the existing geodetic systems to the World Geodetic System with aid of the global gravimetric geoid, and 4) to furnish not yet triangulated areas with astrogeodetic control points for mapping. Material was received from many a country, but due to the Cold War was collected slowly, and gaps remained in the global gravimetric map which would not be filled during Heiskanen's lifetime.

In 1957, Heiskanen completed a Figure of the Earth, based on observations from 59 countries and known as the Columbus Geoid.

Teacher

In addition to hundreds of scientific papers, Heiskanen published numerous books to be used in the universities. Among them there were two course books written only in Finnish, namely *Kenttämittaus ja kartoitus* (The field measurements and mapping) and *Pallotähtitiede* (Spherical astronomy). Internationally best known he is for two textbooks which are *The Earth and its Gravity Field*, written together with F. A. Vening Meinesz and *Physical Geodesy*, written together with Helmut Moritz. Both of them are excellent books for education and have been widely used by geoscientists all around the world.

Devout Christian

In Finland Heiskanen's name is best known for a popular book on astronomy published in two volumes and entitled *Tähtitiede, osat I ja II* (Astronomy, parts I and II), both of them written in Finnish. In this book, which consisted of about 1 000 pages, he gave a comprehensive description of all the discoveries in the astronomy up to that time. The book did not use any higher mathematics: he wrote this book for the general readership, thinking of the people's hunger for knowledge and desire to read. Heiskanen concluded this book with a quotation from the 8th Psalm of the Bible: „When I consider thy heavens, the work of thy fingers, the moon and the stars, which you have ordained; What is man, that thou art mindful of him? and a son of man, that you visitest him? For thou hast made him a little lower than the angels."

Heiskanen had inherited from his pietist parents a simple but strong faith, which was never stifled by the erudition and worldly wisdom he later acquired; on the contrary, it was only strengthened further. Therefore, it is easy to see, how happy he was, when he in 1964 was appointed by the Pope at Vatican to the membership of the Pontificia Academia Scientiarum.

Last five years

Heiskanen returned home from Columbus finally in 1966. He spent his last five years with his wife Kaarina at home in Helsinki mostly in silence. A few times, however, he visited the Finnish Geodetic Institute. In 1972 the American Geophysical Union published a monograph entitled *The use of the artificial satellites for geodesy*. This monograph was dedicated to Yrjö Väisälä, „who made geodesists cast their vision upwards", and to his brother-

in-law, Veikko Heiskanen, „who inspired the dream of a global geoid”. This dedication never reached Heiskanen, who passed peacefully away on October 23rd 1971.

References

R. A. Hirvonen: Veikko Aleksanteri Heiskanen. Memorial address, given May 12, 1972.

Private texts from the records of V. A. Heiskanen.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *104(2009), 65–80*

Dieter Lelgemann, TU Berlin

Eratosthenes and the heliocentric hypothesis of Aristarchos

Abstract

At the end of his treatise "Psammites" (Sandreckoner) Archimedes pointed out the decisive role of the distances and sizes of the celestial bodies regarding the heliocentric hypothesis of Aristarchos of Samos.

At that time Eratosthenes of Cyrene had measured already not only the circumference of the earth to be $U = 252\ 000$ stadia $= 40\ 000$ km, but also the "Astronomical Unit" to be AU $= 804\ 000\ 000$ stadia $= (10\ 000 + 50)$ earth diameter $\sim 130\ 000\ 000$ km.

The heliocentric methodology of antiquity can be reconstructed since it was strictly based on geometric concepts using eccenter/epicycles, well-known to the ancients. And indeed, the distances between the celestial bodies play a decisive role in this geometrically based methodology as well as the cinematics of eccenter and epicycle.

This first serious methodology of celestial mechanics was, according to Ptolemy, used by all the other astronomers at the time of Hipparch. And indeed, a serious geocentric methodology as later on used for about 15 centuries was developed not before Ptolemy, as he stated explicitly in the Almagest.

1 The role of distances in ancient astronomy and geodetic methods

It was already Platon who had pointed out very urgently that stereometry must be studied before astronomy, that means, the distances between the celestial bodies must be taken into account, in addition to what Eudoxos of Cnidos did using his homocentric spheres.

When Archimedes of Syracuse described in his treatise "Psammites" (San-

dreckoner) the heliocentric hypothesis of Aristarchos (as well as some conclusions about the cosmos coming out from that) for Gelon II, son of his king Hieron II, he finished his treatise with the following remark.

I believe, king Gelon, that all this will appear incredible to the many people who have no part in the mathematical sciences.
But not at all to the educated one who have reflected upon the

- ***distances and sizes***

of the earth, the sun, the moon and the whole universe.

The famous mathematician Archimedes was later on honored by Carl Friedrich Gauß (together only with Isaac Newton) with the title "Illustrissimus". And certainly he considered himself as an educated man. Was he, then, an "Adherent of Aristarchos", when he made his famous utterance: "Give me a place where I can stand and I will move the earth."?

In any case the distances and sizes of the celestial bodies played obviously a deciding role in the cosmic considerations of the Greek scientists at the time of Archimedes. If somebody does not take notice of this fact he will easily get a wry conception of the development of astronomy in antiquity.

But did the scientists at that time only reflected upon or did they measure already the distances and sizes of the celestial bodies? Indeed, at least one of them did it very carefully: Eratosthenes of Cyrene.

By ancient literary information in combination with modern knowledge about the metric length of foot-units employed by the ancients it can be shown that Eratosthenes (as before him e.g. Heracleitos) used a stadion unit defined by

- 1 stadion $= 600$ Gudea-foot $= 600 \cdot 0,26455$ m $= 158,73$ m.

He determined therefore already in the 3. century BC surprisingly precise the

- circumference of the earth $= 252\,000$ stadia $= 40\,000$ km.

Moreover, there are several remarks in the ancient literature (Pseudo-Plutarch, Stobaios, Pseudo-Galenos, Theodoretos, Eusebios of Caesarea, Johannes Lydus, Ptolemy-Scholiast), that he also provided a value for the distance earth/sun, in modern times called "Astronomical Unit".

After a careful analysis of those literary texts and a correction of a very few simple and plausible scribal errors by Andreas Kleineberg it turned out that it was always the same value, namely,

- AU $= 804\,000\,000$ stadia $= (10\,000{+}50)$ earth diameter $\sim 130\,000\,000$ km.

Using the well-known angular diameter of the sun he could get then easily the

- diameter of the sun $= 100 \cdot$ diameter of the earth.

Regarding the huge size of the sun according to those data and the tiny size of the earth there can be few doubts that Eratosthenes was "Beta", the second "Adherent of Aristarchos". When he was an adherent he could have tried to determine the topocentric parallaxe of Venus in conjunction (when the Venus was nearest the earth) and from this he could easily derive the topocentric parallaxe of the sun and from this again his astonishing precise value for the distance earth/sun.

As long as we have no contradictory information we may assume (at least as a working hypothesis) that the heliocentric hypothesis was fully elaborated to a heliocentric methodology for practical applications by the four Alexandrian "mathematici" Aristarchos of Samos ($\sim$ 310–230), Archimedes of Syracuse ($\sim$ 285–212), Eratosthenes of Cyrene ($\sim$ 284/274–202/194), Apollonius of Perge ($\sim$ 262–190). And also that the distances of the celestial bodies played a deciding role in this elaboration as well as the cinematics of eccenter and epicycles.

Ptolemy must have known about such a heliocentric methodology when he remarked in the Almagest, book I.7, about the heliocentric hypothesis and the "Adherents of Aristarchos":

Regarding the phenomena in the starry sky, even if perhaps by the ***greater simplicity*** *of this* (heliocentric) *concept no hindrance would be that this is so, it escaped those men, that due to the properties adhering to ourselves and the peculiar atmospheric circumstances the ridiculousness of such an assumption must become obvious.*

Of course, distances to and between the celestial bodies could not be measured directly. They could only have been obtained by a connection of the astronomic angle measurements with geodetic distance measurements.

In this respect three principal methods could have been of help:

1. topocentric parallaxes (1° for the moon, $<1'$ for Venus and sun) or forward incision (Thales; fixed stars), respectively,

2. backward incision (used by Ptolemy for the outer planets),

3. Keplerian ellipses constructed using an epicycle (equant model).

In any case, regarding distance determinations in ancient astronomy a combination of geodetic and astronomic methods was necessary. It seems therefore to be in particular a task of the geodesists to reconstruct those methods.

2 On the methods of the "other" astronomers at the time of Hipparch

Neugebauer (1975, S.277) remarks about Hipparch.

For us the main problem consists in the clarification of the position of Hipparchus with respect to his predecessors and followers. He himself names Archimedes as preceding him in the investigation of the length of the year. We know that Apollonius reached ***full mastery*** *of the cinematics of eccenter and epicycle. We also know how much Ptolemy contributed to the lunar and planetary theory. And we are aware of important data utilized by Hipparchus which originated in Mesopotamia*(Seleukos of Seleukia). *Obviously only by a*

- ***careful analysis of technical details***

may one hope to obtain a valid picture of the astronomy of Hipparchus and his time. To call him the ***"father of astronomy"*** *does not solve the problem.*

With respect to planetary theories Neugebauer (1975, S.342) added later.

We know practically nothing about Hipparchus' planetary theory excepting what we can conclude from few introductory remarks by Ptolemy in the Almagest.

Indeed, Ptolemy remarked there (book IX.2):

He (Hipparchus) *had not even laid down the basics for a theory of the five planets in the commentaries delivered to us. He has only ordered the observations of those for a more beneficial employment.*

It is absolutely necessary for an understanding of the development of ancient astronomy to take notice of the fact, that a geocentric methodology was developed for the first time by Ptolemy; before Ptolemy, there was no adequate geocentric methodology at all. Ptolemy continues:

It seems that he (Hipparch) *thought to give not merely the declaration*

- *that any planet shows a* ***double anomaly*** *and*

- *that each shows* ***unequal retrograde distances***

whereas the other astronomers (at his time) *conducted their proofs*

- *on the way of* ***geometric constructions***

- *under the assumption of* ***one and the same anomaly as well as retrograde distances***.

Two comments may be opportune here. First, in geometric constructions the distances will of course always play a decisive role. Second, one and the same retrograde distance takes place then and only then, if a planet would move in a **concentric circle** around the sun. Ptolemy continues:

Likewise he (Hipparch) *restricted himself not only to the declaration that those phenomena may be expressed by*

- *the assumption of eccenter*

- *or circles, concentric to the ecliptic, which put epicycles into rotation*

- *or even by a combination of both types of circles*

- *where comes out such and such great the anomaly related to the sun,*

- *such and such great the anomaly related to the ecliptic* (fixed stars).

For that has been used by nearly all who wanted to indicate by means of so-called "Tablets for eternal ages" the uniform motion on circles, but they did it completely wrong and remained indebted for the proof $\cdots$.

Indeed, a definite proof was given only much later by mensuration, namely in 1838 AD by Friedrich Willhelm Bessel when he observed for the first time the extremely small parallaxe of a fixed star.

A main problem for us is not only the clarification of the position of Hipparchus with respect to his predecessors and followers, but in particular his position with respect to his contemporaries such as Seleukos of Seleukia.

Fortunately, the short remarks given by Ptolemy are sufficient for this task due to the fact that the "other" astronomers at Hipparchus' time based their models strictly on **geometric constructs** using **two anomalies** as well as the **cinematics of eccenter and epicycles**.

3 Geometric constructs of the cinematics of eccenter and epicycles

Aiming for "a careful analysis of technical details", as suggested by Otto Neugebauer, we may be led by his remark in (1975, p.698).

Without the

- ***accumulation of a vast store of empirical data***

and without

- ***a serious methodology for their analysis***

the idea of heliocentricity was only a useless play on words.

3.1 Anomaly related to the sun: Rotating epicycle and excenter

One of the most conspicuous celestial phenomena regarding the planets are the periodically changing brightness of Luzifer, as the Venus was called, too, in ancient times as well as of Mars and Jupiter in conjunction and opposition. Those could not be explained by the rotating sphere model of Eudoxos, but the distances must be taken into account.

Excenter/epicycle models, probably developed already by the Pythagoreans, could be useful in this respect. Considering retrogradation phenomena Ptolemy introduced **rotating** excenter and epicycles in the Almagest in book XII.1 with the following remark.

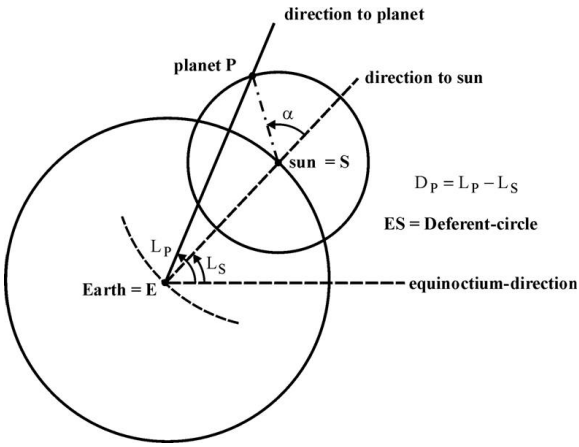
Before they approach an investigation of this phenomena, the other mathematici (who?) *and also Apollonius of Perga mention before a theorem which sounds different*

- ***whether the anomaly to the sun, which are considered to prevail alone with this***

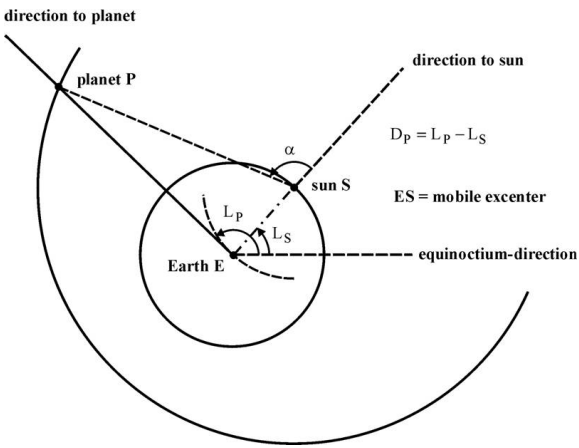
be expressed according to the epicyclic or eccentric hypothesis. The reader may remember that the length of the retrogradation distances of the outer planets do not depend on the anomaly related to the sun but only on the anomaly related to the ecliptic.

On the other hand, using the basis geometric construct of the "other" astronomers, namely concentric circles around the sun, the major question already Aristarchos must have faced will be: How do the orbits of the outer planets look like for an observer at the earth?

And for this question the rotating eccenter model of Apollonius of Perge and the other mathematici provides a simple and evident, strict **geometric** answer as can easily be seen from fig. 1(b).



(a)



(b)

Figure 1: Rotating epicycle (a) and eccenter (b)

3.2 Anomaly related to the ecliptic: static eccenter and equant model

3.2.1 Static eccenter and static epicycle

Already Aristarchos of Samos must have known, that the motion of the planets cannot be modelled by concentric circles around the sun, because of phenomena strictly depending on distances and on the ecliptical longitude:

1. Different length of the seasons, as already carefully and precisely determined by Callippos at around 330 BC, according to their ecliptical longitude.

2. Different length of the retrogradation distances of an outer planet according to its ecliptical longitude.

3. Different maximal elongations of an inner planet according to its ecliptical longitude.

4. Different angular diameters of the moon according to its angle (true anomaly) to the perigeum of its orbit.

The most simple idea would have been to introduce eccentric orbits instead of concentric orbits around the sun. This can be done most simply either by a static eccenter (as used by Ptolemy for the sun) or by a static epicycle, respectively (see fig. 2)

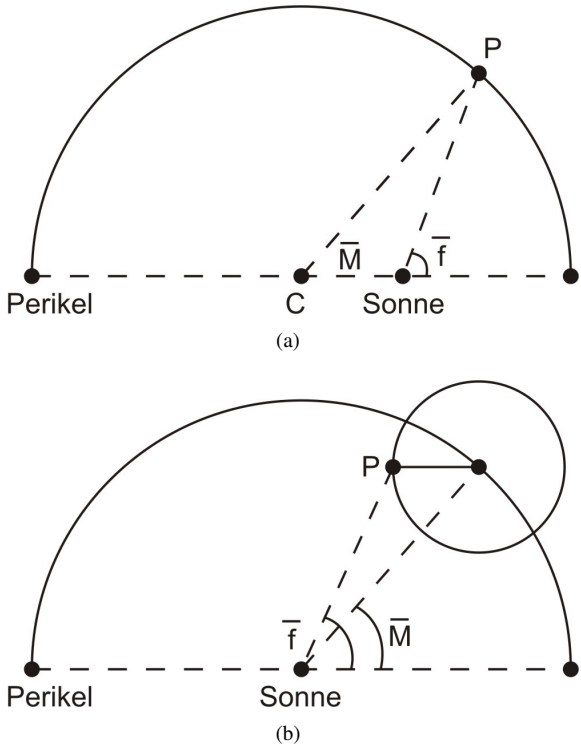


Figure 2: Static eccenter (a) and epicycle (b)

3.2.2 Insufficiency of the static eccenter/epicycle model

Certainly, the static eccenter/epicycle construct is not too bad to "save the celestial phenomena". Only if very precise observations of the planetary positions are performed, then and only then it must turn out that it is not sufficient to connect those by such an eccenter kind of geometric model.

Do we have any information about such kind of precise observations? Indeed, Ptolemy reported in the Almagest, book IX.2:

As for the establishment of the anomalies no small difficulty brings along the perception that at any planet two apparent anomalies do show an influence on them; those are unequal, regarding both their seize and their recurrence time. One of them will be set up in ***causal*** *relation to the sun, the other*

one in relation to the parts of the ecliptic. However, both are throughly mingled together; so consequently it is difficult to eliminate the peculiarity both adhering individually.

He proceeds then, regarding now the old observations:

A further inconvenience is that the records of the old observations are to a large extend kept very unappreciative and superficial.
The more coherent ***series of observations*** *are concerned with*

- *standstills and*
- *heliacal risings and settings.*

Indeed, those are just the kind of observations necessary to check whether a static eccenter/epicycle model will be adequate to connect the individual precise astronomic observations of the planets (see fig.3).

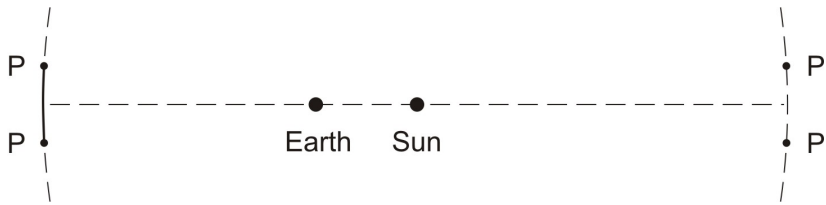


Figure 3: Standstills and heliacal risings and settings of the outer planets

The result of precise observations of stillstands and heliacal risings and settings must have been that the static eccenter/epicycle model must slightly be modified to "save the celestial phenomena".

Taking into account heliacal risings and settings another result must have been that all planets (with perhaps the exception of the earth) move in nearly circular orbits around the sun, as found out later on by Tycho Brahe. But Ptolemy avoids to use heliacal rising and setting data within his model of planetary motions. Willfully or unconscious, that is here the question.

3.2.3 A slight modification of the static eccenter model: Keplerian ellipses

One may modify the static eccenter model by a small epicycle (see fig. 4). When the center of the epicycle moves around an angle z in the retrograde

direction, the planet P on the epicycle may move in the prograde direction about the same angle z. The orbit of the planet constitutes then a Keplerian ellipse.

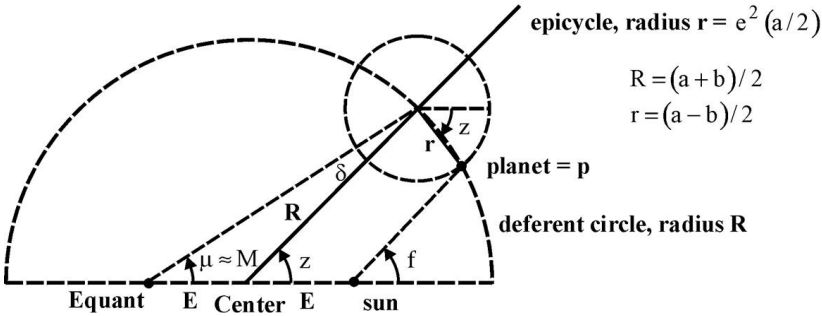


Figure 4: Keplerian ellipse constructed with ruler and circle

The reader can easily check by himself that

$a = R + r =$ semi major axis

$b = R - r =$ semi minor axis

$z =$ eccentric anomaly

$f =$ true anomaly

$\mu \sim M =$ mean anomaly

Apollonius of Perge was and is very famous for his treatise "Conics". Can it be that he never detected how to draw an ellipse by ruler and circle? Was it perhaps explained in the lost book of the "Conics"?

3.2.4 A clever approximation of a Keplerian ellipse: Equant model

Regarding the ancient accuracy of astronomic observations a clever approximation of the elliptic orbit is near at hand. If the orbit excentricity e = E/a is small, as it is the case for the moon and the planets, one gets

$$(r/a) = (e^2 + (e^2/2)^2 + \cdots)/2 \sim 0.$$

The result is the so-called equant model (see fig. 5(a)).

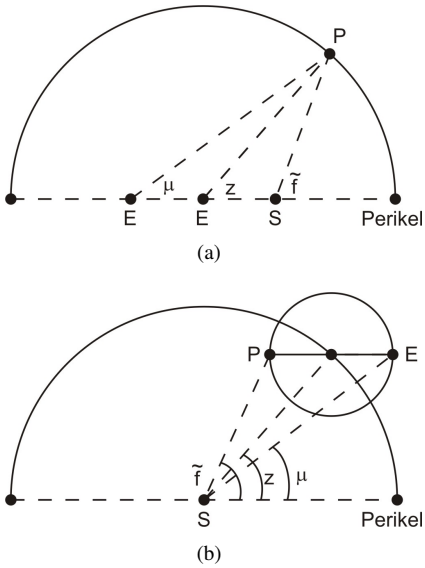


Figure 5: Eccentric (a) and epicyclic (b) equant construct

Of course, the equant model can be used, such as the mobile as well as static eccenter/epicycle model, in an eccentric form (fig. 5(a)) as well as in an epicyclic form (fig. 5(b)). The epicyclic form was used by Ptolemy in the second part of his lunar theory.

In the frame of a uniform heliocentric methodology the orbits of all the planets including the earth must be modelled by an equant model.

Regarding the ancient observation accuracy, however, it would have been geometrically completely sufficient in case of the outer planets to approximate the earth orbit by a concentric circle around the sun. Also the Venus orbit may be approximated by a concentric circle. This is what Ptolemy did in the Almagest.

In case of the Mercury, however, both his orbit as well as the earth orbit will require a modeling by the equant concept as will be necessary, too, if very precise observations of Mars are at present such as performed by Tycho Brahe.

4 A comment on Ptolemy's lunar theory

Neugebauer (1975, p.86) remarked.
It is interesting, to find here in the lunar theory the roots of the concept of the "equant" (-model) *which plays such an important role in Ptolemy's planetary theory, that is, the idea that uniformity of motion may refer to a point different from the geometric center of a circular orbit.*

The motion of the moon itself on the epicycle requires a special investigation which has its parallels in planetary theory. It hardly can be doubted that it was the theory of the lunar motion where the modifications of the simple epicyclic motion originated.

Indeed the epicycle in Ptolemy's lunar model can be considered just as an epicyclic equant construct. Ptolemy designated book IV and V of the Almagest to the moon. In chapter IV.1-8 he started his treatment with the so-called first anomaly. In chapter IV.9 he started his investigations again using other, "more agreeable" methods after he has remarked as an introduction.

By application of more agreeable methods, independent of the previously made presuppositions to get the aspired results, we have recently found as incorrect those positions in (ecliptical) *latitude which have been calculated with the help of the former presuppositions.*

According to the now independently of that located positions we have set right those hypotheses which are concerned with ***the sizes and distances****, after we have proofed their unsteadiness.*

We have used the appropriate method with the hypotheses of ***Saturn and Mercury*** *under removal of some former outcomes, which have not been obtained sufficiently accurate, since later on better founded observations have been handed down to us.*

It is revealing that Ptolemy connects in this passage his **advanced** lunar theory with the hypotheses of Saturn and Mercury. For Saturn he used the equant model. His model for Mercury can be considered as a − not correct one − approach to model both the orbit of Mercury and of the earth by an equant model.

Moreover, his advanced model for the first anomaly of the moon, which he developed in the second part of book IV, can easily be explained as an equant model of the epicycle type. Ptolemy proceeds further.

For who approaches with true veracity and untiring thoroughness the theoretical treatment of those circumstances he should not alone utilize those

means and ways offered by modern times

- *for a rectification of the old hypotheses*

but also

- *for the rectification of his own hypotheses*

if they will need improvement.

Considering the greatness and divinity of the system of instruction and feeling himself competent to proclaim it, he should not keep it as a disgrace, if to him a rectification be allotted from another side and not only from its own perception.

There can be few doubts, according to this profession, that Ptolemy found other reports on which he based his advanced method. Unfortunately, he did not tell us who was the author of such reports and what were the contents of those.

In any case the modern myth that Ptolemy's lunar theory is **not** based on the (epicyclic) equant model can easily be doubted and would certainly require additional plausible arguments.

In his book "The crime of Claudius Ptolemy" R.R. Newton (1977, p.208) comes to the conclusion.

In fact, the Greek knowledge of the apparent size of the moon was compatible with an elliptical orbit but not with an epicycle/eccentric model of motion. It was compatible (of course) *with the equant model. But this model was never applied to the moon, although it was applied to the planets.*

As be said, his last remark remains very doubtfully.

5 An orbiting earth and the parallaxes of the fixed stars

If the earth moved, according to Eratosthenes, in a circle with a diameter of about $(20\,000+100)$ earth diameter around the sun, then in principle it should be possible to observe a half-yearly parallaxe of a fixed star and derive from this its distance. Since no parallaxes could be observed till 1838 AD all fixed stars must be very far away. Since the light of those objects reached the earth, they must be very huge celestial objects like the sun.

Of interest in this respect are the following remarks in (Neugebauer 1975, p.584 an p.611).

Interestingly ***Geminus*** *denies the existence of a single sphere for the fixed stars, which he assumes to be distributed in depth. The same opinion is also held by* ***Proclus.*** *In modern times* ***Seleucus*** *has become famous as supporting Aristarchus in the assumption of an axial rotation of the earth, relating it to his theory of tides, and by his assertion that* ***the cosmos is infinite.***
No doubt, Geminus, Proclus and Seleucus had already a correct conception about the structure of the universe.

6 Concluding remarks

From the point of view of mensuration there is nothing mystical, there is no "Greek spirit" left about the developement of Greek mathematics and the very old natural sciences geodesy and astronomy.

It started when Thales/Anaximander, probably for the first time, combined angle and length measurements for very practical purposes such as navigation and geography. It ended when geodetic methods have been used to determine the distances between the celestial objects.

It was just the investigation of the distances of the celestial bodies which must have led to the heliocentric hypotheses as well as its elaboration to a heliocentric methodology. To understand it, we have first to reach for ourselves full mastery of the cinematics of eccenter and epicycle such as Apollonios of Perge had got it already; this is provided in the present paper in section 3.

The present treatise is merely based on "a careful analysis of technical details" as required by Otto Neugebauer. It comes to the same conclusion as Bartel Leendert van der Waerden (1988), namely, that the heliocentric hypothesis of Aristarchos played a much greater role in antiquity as usually assumed in modern times. Indeed, according to Ptolemy all the other astronomers at the time of Hipparch have used a heliocentric methodology.

All the questions and riddles turning up until today with the Almagest will vanish, as far as we could see, after the reconstruction of the heliocentric methodology, probably developed by the "mathematici" Aristarchos, Eratosthenes, Archimedes and Apollonius. A very rational image of the development of geodesy and astronomy by the Greeks turned up then, too; no contradiction could be found yet by us with ancient literary information (Lelgemann 2010).

The movement of the planets have been of interest, of course, not for the common men but only for philosophers and astrologists. It remains to anal-

yse the numerical data in the many horoscopes in particular before 150 AD, whether they agree or do not agree with such kind of heliocentric methodology as reconstructed in this treatise.

Why the geocentric and not the heliocentric concept survived for about 15 centuries is an iteresting question. Ptolomy's concept with the physical hypothesis of Aristoteles. If somebody doubted Ptolomy's heliocentric concept, he first had to critisize the physical hypothesis of Aristoteles. This was done in a very voluminous treatise by Wilhelm von Ockham at about 1320 AD. Short time later the heliocentric concept was established again stepwise by Nicolaus of Oresme, Nicolaus of Kues, Nikolaus Kopernigk, Johannes Kepler, and finally by Isaac Newton. The mesurments of Friedrich Wilhelm Bessel removed the last doubts obout its correctness.

Acknowledgment

My thanks go to my venerated teacher, the professor for astronomical and physical geodesy Helmut Moritz, who teached and forced me to underlay my opinions always with plausible arguments. Thank you a lot, Helmut.

References

[Kleineberg A., 2008] Eratosthenes von Kyrene zur Entfernung Sonne/Erde. Internet

[Manitius K., 1963] Ptolemäus. Handbuch der Astronomie. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig

[Neugebauer O., 1975] A History of Ancient Mathematical Astronomy. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg

[Newton R.R., 1977] The crime of Claudius Ptolemy. The John Hopkins University Press, Baltimore and London

[van der Waerden B.L., 1988] Die Astronomie der Griechen. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt

[Lelgemann, D., 2010] Die Erfindung der Meßkunst. Angewandte Mathematik im antiken Griechenland, Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 81–105*

Herbert Hörz

Unbestimmtheit und Exaktheit in der Wissenschaft Anmerkungen zu wissenschaftsmethodologischen Überlegungen von Helmut Moritz

1. Einführung

Was berechtigt den Wissenschaftsphilosophen auf einem Kolloquium zu wissenschaftlicher Geodäsie über Unbestimmtheit und Exaktheit in der Wissenschaft zu sprechen? Dafür kann ich drei Gründe anführen:

Erstens ist es unser Jubilar Helmut Moritz selbst, der mit seinen prinzipiellen philosophischen Überlegungen (Moritz 1995) den Philosophen zur Meinungsäußerung herausfordert. Das geschah schon in meinem Vortrag „Heisenberg – Determinismus und die Folgen“ von 2001, als ich den Geophysiker noch nicht persönlich kannte, mich jedoch seine Bemerkungen zur Unbestimmtheit in den Wissenschaften interessierten, die mit meinen Überlegungen zur stochastischen Denkweise korrespondierten. (Hörz 2002) Wissenschaftliche Erkenntnis ist stets mit einer Hintergrundtheorie verbunden, die das Wissenschaftsverständnis, Kriterien der Rationalität und die leitenden Ideen der eigenen Wissenschaftsmethodologie enthält. Moritz gehört zu denen, die sich darüber Gedanken machen. Er holt die von vielen nicht reflektierte Hintergrundtheorie in den Vordergrund wissenschaftlichen Interesses und analysiert so die philosophischen Grundlagen der wissenschaftlichen Geodäsie. Solche Hintergrundtheorien nutzen wir auf allen Ebenen unseres wissenschaftlichen Wirkens. Im Beitrag „Uncertainty“ betont Moritz: „Uncertainty is pervading our daily life, our thinking and our decisions based on incomplete information.” (Moritz o.J.)

Zweitens habe ich mich mit philosophischen Aspekten der Geowissenschaften befasst, von der Geozeit bis zu Überlegungen bei Helmholtz und Kelvin im Zusammenhang mit der Edition ihres Briefwechsels. (Hörz 2000) Anregungen dazu kamen z.B. von Martin Guntau, Peter Bankwitz, Wilfried Schröder, Heinz Kautzleben. Die Geodäsie spielte in den Debatten mit Ernst

Buschmann eine Rolle, der sich vor allem mit meiner „Philosophie der Zeit“ und den Beziehungen von Rahmen- und Eigenzeit beschäftigte. (Hörz 1992)

Drittens sind die von Moritz und anderen aufgeworfenen Probleme eines „deterministischen Chaos“ oder der Beziehungen von „Gesetz und Zufall“ Grundprobleme der Philosophie, die im Zusammenhang mit der Entwicklung unserer Auffassungen zum Determinismus und zum Zufall stehen, womit ich mich intensiv beschäftigt habe. (Hörz 2008)

Geodäsie ist also Ausgangspunkt für philosophische Überlegungen zu der Denkweise, die unseren bisherigen Erkenntnissen adäquat sein soll. Dabei geht es um unser Verständnis von Unsicherheit und Exaktheit nicht nur in der Geodäsie. Die dafür wesentlichen Beziehungen von Kausalität, Gesetz und Zufall sind in allen Forschungsfeldern vorhanden. Sie bestimmen unser Denken und Handeln. Von der generellen Erörterung ist jedoch wieder zur Geodäsie zurückzukehren.

Ich beginne mit einem historischen Exkurs zur Problemsicht der führenden Geodäten (Kautzleben 2008) Johann Jacob Baeyer (1794 – 1885) und Friedrich Robert Helmert (1843 – 1917), um zu zeigen, welche Rolle die von Moritz angesprochene Fehlerproblematik in der Geschichte der Geodäsie spielte. Dann werden wissenschaftsmethodologische Überlegungen von Helmut Moritz in ihrer Relevanz für Philosophie und Geodäsie vorgestellt. In einem weiteren Punkt geht es um die stochastische Denkweise mit der philosophischen Theorie des dialektischen Determinismus, der statistischen Gesetzeskonzeption und den Kriterien der Exaktheit. Dann werden einige methodologische Folgerungen aus der statistischen Denkweise für die Geodäsie aus philosophischer Sicht zusammengestellt. Eine kurze Schlussbemerkung schließt die Anmerkungen zu den wissenschaftsmethodologischen Ansichten von Helmut Moritz ab.

2. Historischer Exkurs: Problemsicht bei Baeyer und Helmert

Baeyer und Helmert waren als herausragende Geodäten Mitglieder unserer Akademie. Baeyer initiierte die Mitteleuropäische Gradmessung. Seine Erfahrungen sammelte er vor allem in der geodätischen Feldarbeit. Baeyer habe so der geodätischen Forschung den „stärksten Impuls“ gegeben, betonte Helmert in seiner Antrittsrede als Akademiemitglied am 28.6.1900. Dabei unterschied er zwischen „Forderungen des staatlichen Lebens nach Karten und Lageplänen“ und „dem Bedürfniss nach zweckmäßiger Ausführung der Vermessungsarbeiten bei der Anlage des Eisenbahnnetzes“ auf der einen Seite und der höheren Geodäsie auf der anderen, die „ihr Wachsthum dem allge-

mein zunehmenden Interesse an naturwissenschaftlichen Fragen und der dadurch herbeigeführten Ausbreitung der Erdmessungsarbeiten“ verdanke. (Helmert 1993, S. 22) Die von Baeyer und anderen aufgeworfenen praktischen Probleme wurden bei Helmert Gegenstand seiner Arbeit über die mathematischen und physikalischen Grundlagen der höheren Geodäsie.

Beide beschäftigte das Verhältnis von Unbestimmtheit und Exaktheit in der Geodäsie. Baeyer befasste sich mit den von ihm benannten Fehlergruppen mehr von der praktischen Seite. Helmert suchte auf theoretischem Weg, ausgehend von der Fehlerrechnung bei Gauss, Kriterien der Genauigkeit besser zu erfassen.

2.1. Fehlergruppen bei Baeyer

Baeyer war ein hervorragender Organisator. Er leitete die trigonometrische Abteilung des Preußischen Generalstabs, deren Arbeit er nach 1857 scharf kritisierte. Ernst Buschmann verweist in seiner Einführung zur Würdigung der Arbeiten von Baeyer darauf, dass er Messungen des Generalstabs wiederholte, um „bessere ‚wissenschaftliche nutzbare‘ Ergebnisse zu erzielen.“ „Im Hintergrund des Zwistes stehen starre Auffassungen und Verhaltensweisen Baeyers … über die Qualität der preußischen Triangulationen sowie über die Vorzüge der Triangulation als Grundlage für topographische Aufnahmen im Vergleich zur reinen Meßtischaufnahme.“ (Buschmann 1994, S. 12) Uns interessieren Baeyers Gedanken zum Verhältnis von Unbestimmtheit und Exaktheit bei geodätischen Messungen. So ging er in Briefen an den Königsberger Astronomen, Geodäten und Mathematiker Friedrich Wilhelm Bessel (1784 – 1846), mit dem er von 1831 bis 1834 gemeinsame geodätische Feldarbeiten in Ostpreußen durchgeführt hatte, auf die Problematik der Fehler bei geodätischen Messungen ein.

Am 30.11.1835 berichtete er von seinem Zweifel über den Zenitpunkt bei Beobachtungen. Er habe dazu alle Resultate zusammengestellt, um „eine Totalübersicht“ zu bekommen, während er bisher nur einzelne Beobachtungen herausgegriffen habe. Das Resultat sei: „Wenn man von den Fehlern der Einstellungen des Objekts und den Ablesungsfehlern am Höhenkreis und dem dazugehörigen Niveau abstrahiert, so ist die Lage des Zenitpunktes abhängig von der Stellung der Achse des horizontalen Kreises.“ Das führe zu Variationen der Zenitpunkte, was zu beachten sei. Daraus folgerte er: „Auf diese Weise muß ich die Erwartungen, die ich von meinen Beobachtungen hatte, gewaltig herabstimmen … .“ (Buschmann 1994, S. 52f.)

Es geht uns bei den Überlegungen zur Wissenschaftsmethodologie nicht um die konkrete Methode, die Baeyer anspricht, sondern um den wichtigen

Aspekt der möglichen Fehler, die zu differenzieren sind. So wird erstens auf Beobachtungsfehler verwiesen, also auf die Fähigkeit der Beobachter zur exakten Datenbestimmung, einschließlich der genauen Instrumenteneinstellung. Zweitens könnten die Instrumente ungenaue Angaben liefern, wenn sie für die geforderte Genauigkeit ungeeignet oder eventuell reparaturbedürftig sind. Diese Fehler wollte Baeyer unberücksichtigt lassen. Ihm ging es drittens um die Messmethode selbst, die eventuell nicht voll ausgereift sei und deshalb zu Fehlern führen könne. Über sie dachte er weiter nach, um eventuelle Fehler zu vermeiden. So schrieb er am 4.7.1837 über Beobachtungen in Trunz, das Instrument sei „vollkommen in Ordnung", doch „am frühen Morgen und am späten Abend differieren die ersten und die letzten Einstellungen um einige Sekunden, doch können dies ebenso gut Beobachtungsfehler sein." (Buschmann 1964, S. 88)

Am 11.5.1836 stellt Baeyer weitere Überlegungen an: „Die große Übereinstimmung, welche die Kontrolle am Engen-Oderkruge gibt, hat mir wieder mehr Vertrauen eingeflößt, doch begreife ich nicht, woher es kommt, daß der wahrscheinliche Fehler so bedeutend von dem wirklichen abweicht. Folgt nicht daraus, daß die wirklichen Beobachtungsfehler kleiner sind als die Fehler, welche die Beobachtungen zeigen? und hieraus wiederum, daß die Beobachtungen einem physischen Einfluß unterworfen sein müßten, der kompensiert worden ist?" Ein solcher Einfluss könnte nach seiner Meinung „eine ungleiche Krümmung des Lichtstrahls an beiden Endpunkten sein, welche an der unteren Station stärker variiert als an der oberen." (Buschmann 1994, S. 66) Es ist wissenschaftshistorisch interessant, wenn jemand eine Lichtkrümmung annimmt, wie sie später in der Relativitätstheorie begründet wurde. Wichtig ist jedoch der Hinweis auf mögliche Einflüsse, die über die bisherigen drei Gruppen hinausgehen und eine vierte Gruppe konstituieren, die wir als äußere Bedingungen des Messgeschehens bezeichnen können, die ebenfalls dann weiter zu differenzieren wäre. Am 28.12.1836 meinte Baeyer, es sei doch sonderbar, „daß die angenommene große Achse zwischen Königsberg und Trunz in bezug auf die Breite mit der Beobachtung ein gut übereinstimmendes Resultat gibt, dagegen zwischen Memel und Königsberg gar nicht. Die Unterschiede zwischen den berechneten und den beobachteten Azimuten deuten, wenn ich nicht irre, an beiden Punkten auf eine größere Abplattung." (Buschmann 1994, S. 72) Hier geht es um die Vorstellungen von den Beobachtungsobjekten und ihren Beziehungen, die wir in unseren Theorien, etwa über die Gestalt der Erdoberfläche, erfassen. Sie stellen eine fünfte Gruppe dar und betreffen die Rahmentheorie, von der wir bei der Interpreta-

tion unserer Beobachtungen ausgehen. Korrekturen an diesen theoretischen Vorstellungen werden durch Beobachtungen erzwungen, wenn Messwerte auftauchen, die von den berechneten abweichen, vorausgesetzt, die anderen Gruppen möglicher Abweichungen sind überprüft und Fehler aus dieser Sicht ausgeschlossen. Das führt uns zur sechsten Fehlergruppe, den Interpretationen von Messergebnissen. Es geht dabei um den Vergleich zwischen beobachteten Resultaten und theoretischen Erkenntnissen. Bei wesentlichen Unterschieden ist entweder das Resultat fehlerhaft oder die Theorie zu korrigieren. Das ist, wie die Wissenschaftsgeschichte zeigt, ein weites Feld für harte Auseinandersetzungen zwischen Anhängern der Theorie, die geändert werden sollte, und den Reformern, die nicht unbedingt Recht haben müssen. Denken wir nur an die Debatten um den Energieerhaltungssatz, der schon aufgegeben werden sollte, ehe man eine andere theoretische Erklärung fand.

Anfangsbedingungen und Anfangswerte sind entscheidend für die Ergebnisse, die sich bei Rechnungen dann ergeben. Falsche Vorgaben können sich aus den verschiedenen Gruppen von Fehlern ableiten lassen, nicht nur aus Beobachtungsfehlern, sondern auch aus bisherigen einseitigen Vorstellungen. Am 12.2.1837 berichtete Baeyer, „daß meine Annahme der Werte der Niveau-Skala ganz falsch ist, wodurch in der Rechnung viel zu ändern bleibt.“ (Buschmann 1994, S. 74) Das gilt generell. Richtige Rechnungen können falsche Eingaben nicht korrigieren. Doch es geht zugleich um tiefere Probleme. Gerade in den philosophischen Interpretationen der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen zeigte sich die Annahme, man könne eindeutige Ausgangsbedingungen für das Verhalten physikalischer Objekte im Quantenbereich bestimmen, als falsch.

In den Streit, den Baeyer dann später mit der trigonometrischen Abteilung des Generalstabs hatte, wurde der Gothaer Astronom Peter Andreas Hansen (1795–1874) einbezogen. In einem Gutachten vom 31.12.1867 äußerte er sich zu den Vorwürfen von Baeyer über die ungenügende Qualität der von der Abteilung durchgeführten Messungen. Dort heißt es: „Jede haltbare Beurteilung einer Sache muß sich auf klare und einfache, mit der Sache eng und grundsätzlich verbundene Grundsätze stützen, und Urteile, die solcher Grundlage entbehren, können auf keine Haltbarkeit Anspruch machen.“ (Buschmann 1994, S. 162) Dann werden drei Grundsätze formuliert, die erstens die Messungen und Beobachtungen der Grundlinien, der Winkel und Richtungen betreffen. Mangelhafte Ausmessung der Grundlinien könne mit Kostenaufwand wiederholt werden, doch geringe Genauigkeit bei Winkel- oder Richtungsmessungen verlangten, die Arbeit zu verwerfen. Zweitens

gehe es um die Anlage der Dreiecke und ihre Verbindungen. Korrekturen durch nachträgliche Messungen seien dabei möglich. Drittens ist die Berechnung der Messungen zu beachten. Rechenfehler wären jedoch zu beheben. Seine Überlegungen führten Hansen zu der von Baeyer nicht geteilten und dann heftig attackierten Bewertung: „Aus diesem allen stellt sich das Urteil heraus, daß die bei der Preußischen Triangulation angestellten Beobachtungen zu den besten der vorhandenen gehören." (Buschmann 1994, S. 163) Das Gutachten von Hansen verdeutlicht, wie wichtig es ist, die Kriterien für die Beurteilung einer Arbeit genau anzugeben.

2.2. Helmert und die Kriterien der Genauigkeit

In der erwähnten Antrittsrede vor der Akademie betonte Helmert: „Jedem, der nur ein wenig den Inhalt der Geodäsie kennt, wird die vielfältige Anwendung der Ausgleichungsrechnung und der Theorie der Beobachtungsfehler gerade in diesem Gebiete des Wissens und Könnens auffallen." Zuerst sei es nur die höhere Geodäsie gewesen, die sich damit befasst habe, doch nun seien sie auch in der Kleinvermessung unentbehrlich geworden. „Dabei zeigte sich, dass selbst mathematisch recht einfache Aufgaben der Geodäsie durch die Genauigkeitsfragen, die bei der Anwendung auf Messergebnisse hinzutreten, an theoretischem Interesse gewinnen. Als letztes Ziel muss bei allen diesen Dingen die rationelle Vermessung angesehen werden, d. h. diejenige Art der Vermessung, welche bei gegebenen Umständen mit einer vorgeschriebenen Summe von Arbeit oder Kosten die genauesten Ergebnisse, oder umgekehrt: eine vorgegebene Genauigkeit mit dem geringsten Aufwand ermittelt." Diese Frage der rationellen Lösung trete sicher bei jeder Messung auf, spitze sich jedoch in der Geodäsie zu. Methodologisch interessant ist es, dass Helmert bei der Genauigkeit sowohl auf die Zielstellung, als auch auf den dazu notwendigen Aufwand verwies. Er forderte ein „angemessenes gegenseitiges Verhältnis von Beobachtungsarbeit und Rechenarbeit". Im Zusammenhang mit der rechnerischen Behandlung des europäischen Dreiecksnetzes stellte er fest: „Hier ist mit einem ganz strengen Verfahren, das jede einzelne Messung voll ausnutzen will, nicht durchzukommen, ebenso müssen kleine theoretische Ungenauigkeiten zugelassen werden, falls nachgewiesen wird, dass sie das Endergebnis nicht entstellen. Eine strenge Behandlung der Aufgabe, so interessant sie theoretisch auch ist, verbietet sich praktisch schon durch den Mangel ausreichenden Beobachtungsmaterials … Wenn nun die rechnerischen Vereinfachungen vielleicht den Nutzeffekt der Beobachtungen nicht unerheblich herabdrücken, so steht diesem Nachtheil der Vortheil gegenüber, in absehbarer Zeit umfassendere Ergebnisse für die Figur der Erde erzielen zu

können. Man kann den Genauigkeitsverlust umso eher hinnehmen, als ein Verlust gleicher Art durch die Unmöglichkeit richtiger Abschätzung der Beobachtungsgewichte unvermeidlich ist.“(Helmert 1993, S. 22f.)

In der umfassenden Einschätzung der Arbeiten Helmerts zur physikalischen Geodäsie machen Martina und Günter Harnisch an mehreren Stellen auf diese Problematik aufmerksam. So stellen sie u.a. fest: „Zahlenwerte von den verschiedensten Parametern des Erdkörpers sind für Helmerts Arbeiten von größter Bedeutung. Stets versucht er, seine theoretischen Untersuchungen in der Praxis zu überprüfen, indem er gemessene und berechnete Werte miteinander vergleicht oder selbst neue Parameter ableitet und diese wieder analysiert. … Schließlich sei noch auf Helmerts praktisches Interesse an der Durchsetzung eines einheitlichen internationalen Einheitensystems als Voraussetzung für genaues und vergleichbares Zahlenmaterial von den verschiedensten Parametern der Erde hingewiesen.“ Es werden Beispiele für die kritische Analyse von Messungen in anderen Arbeiten angeführt, wobei es für Helmert immer wichtig war, den Grad der Genauigkeit im Zusammenhang mit der Zielsetzung zu sehen. So betonte er zu einer Untersuchung, die er weniger genau fand, sie sei „doch jedenfalls noch so genau, daß ihre große Bedeutung für die Erkenntnis der Größe und der Gestalt der Erde dadurch nicht beeinträchtigt wird.“ (Harnisch 1993, S. 61f.)

Helmert befasste sich mit der mathematischen Behandlung der Genauigkeitsprobleme in der Geodäsie. Im Akademievortrag vom 9.6.1904 „Zur Ableitung der Formel von C.F.Gauss für den mittleren Beobachtungsfehler und ihrer Genauigkeit“ ging es ihm darum, die Formeln von Gauss über das Quadrat des mittleren Fehlers „im Anschluß an meine Theorie der äquivalenten Beobachtungen herzuleiten, wodurch eine Vereinfachung erzielt wird.“ (Helmert 1993, S. 174) Am 25.5.1905 sprach er „Über die Genauigkeit der Kriterien des Zufalls bei Beobachtungsreihen“. Bei der Ausgleichung von Beobachtungsreihen prüfe man „gern die übrigbleibenden Fehler darauf hin, ob sie sich hinlänglich als zufälligen Ursprungs betrachten lassen – namentlich dann, wenn es sich um Interpolationsformeln handelt und also Einflüsse vernachlässigbarer Glieder, überhaupt der Theorie, sich geltend machen können. Meines Wissens ist aber über die Genauigkeit der Kriterien des Zufalls wenig bekannt … .“ (Helmert 1993, S. 190) Aus wissenschaftlichem Interesse ging er auf Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen ein, obwohl es sich um diskrete Werte bei den Beobachtungsreihen handle. Er behandelte im Zusammenhang mit positiven und negativen Fehlern vor allem die Vorzeichenproblematik, war sich jedoch darüber klar, dass „systematische Fehler-

ursachen häufig die positiven und negativen Fehler gleichmäßig beeinflussen.“ (Helmert 1993, S. 202) Ihm ging es um die mathematische Erkennung systematischer Beobachtungsfehler.

Unabhängig von der Relevanz dieser Rechnungen für die Geodäsie sind philosophisch zwei Aspekte interessant, die mit der statistischen Gesetzeskonzeption wieder aufzugreifen sind:

Erstens wird der Zufall meist noch, wie in dieser Zeit üblich, denn die Debatten um die Rolle des Zufalls in der Quantenmechanik erfolgten erst später, als unwesentlicher Faktor, als vernachlässigbar angesehen. Es gibt noch eine klare Trennung zwischen Gesetz und Zufall, zwischen wesentlichen Daten und zufälligen Ungenauigkeiten, die das Resultat nicht wesentlich beeinflussen. Dem war später eine differenzierte Sicht auf die Zufälle entgegenzusetzen.

Zweitens ist der Hinweis auf Wahrscheinlichkeiten wichtig. Zufälle sind mögliche Ereignisse, die unter bestimmten Bedingungen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten können. Sie sind Bestandteil der Gesetzesstruktur. Die These vom Zufall als Erscheinungsform der Notwendigkeit war mit der statistischen Gesetzeskonzeption zu präzisieren.

Die Problemsicht, die wir bei Baeyer und Helmert finden, macht uns so auf aktuelle Probleme aufmerksam. Die stochastische Denkweise war mit neuen Einsichten weiter zu entwickeln. Dazu hat Helmut Moritz wesentliche Beiträge geleistet. Über Kollokation und spezifische Probleme der Geodäsie, zu denen er Lösungen erarbeitete, werden Fachkollegen sich äußern. Ich befasse mich mit den philosophischen Überlegungen, die über die Geodäsie hinausgehen und doch als Wissenschaftsmethodologie auf die geodätische Arbeit zurück wirken.

3. Wissenschaftsmethodologische Überlegungen von Helmut Moritz

Helmut Moritz ist ein philosophischer Denker, da er seine Welterklärung explizit begründet und philosophische Ideen als heuristisches Mittel nutzt. Als Geophysiker und herausragender Geodät bewegt er sich mit philosophischen Ideen zwischen Wissenschaft und Weltanschauung. Das zeigt der Beitrag „Science, Religion and Tolerance“, der seine weltanschauliche Haltung begründet, die ich mit Respekt zur Kenntnis nehme. Sie unterscheidet sich in Glaubensfragen von meiner, doch in der philosophischen Analyse der wissenschaftsmethodologischen Probleme sehe ich Gemeinsamkeiten. Für mich ist Philosophie ebenfalls Brücke zwischen Wissenschaft und Weltanschauung, was einen fruchtbaren Dialog ermöglicht. Moritz lehnt berechtigt einen

einseitigen Materialismus ab, der die Existenz menschlicher Beobachter und damit die für die Erkenntnis wesentliche Subjekt-Objekt-Dialektik negiert. (Moritz 2006, S. 26) Doch scheint mir ein dialektisch verfasster Materialismus, den ich vertrete, in vielen Punkten mit seinen Auffassungen vereinbar. (Hörz 2007)

Wichtige Überlegungen von Moritz gehen in die Richtung meiner Arbeiten zum dialektischen Determinismus und zur statistischen Gesetzeskonzeption. Dazu stellte ich 2001 im Abschnitt „Aktuelle Debatten“ meines schon erwähnten Vortrags fest: „Der Vertreter der physikalischen Geodäsie Helmut Moritz behandelt die drei wichtigsten Ausdrücke der Unbestimmtheit, nämlich erstens die klassische Theorie der Messfehler von C.F. Gauss, zweitens die Unbestimmtheitsrelationen von Heisenberg und drittens das Unvollständigkeitstheorem von Gödel.“ (Hörz 2002, S. 42) Ich verwies darauf, dass er zwischen verschiedenen Arten der Unbestimmtheit unterschied. Die ersten beiden Arten der Unsicherheit, die gewöhnlich sehr subtil und klein sind, sah er als Effekte zweiter Ordnung, jedoch die Gausschen Fehler als Effekt erster Ordnung. Er stellte fest: „In the working practice of mathematicians, however, Gödel's incompleteness is largely ignored in the same way as in the working practice of physicists (except quantum physicists), Heisenberg's uncertainty plays a negligible role. Nevertheless, both facts are with us and make us aware of a theoretical 'skeleton in the cupboard' which lurks at the back of all our scientific work, of a basic element of insecurity.” (Moritz 2001, S. 40) Wahrscheinlichkeit entstehe aus der deterministischen jedoch chaotischen Bewegung. Das führe zur Konsequenz: “Chaotic effects in nature thus are frequently responsible for probabilistic laws, and also random errors are of this kind.” (Moritz 2001, S. 42) Das moderne Chaos werfe so ein scharfes Licht auf die Beziehungen zwischen „determinism and randomness“, einschließlich der Gaussschen Fehler. Ich stellte fest: „Die aktuellen Debatten zeigen, dass die Diskussion um das Verständnis der Bedingtheit und Bestimmtheit des wirklichen Geschehens, also um seine Determiniertheit, weiter geführt wird. Dabei tauchen neue Aspekte auf, die mit dem Schlagwort ‚deterministisches Chaos‘ und mit dem Hinweis auf Fluktuationen als Zufallsprozesse erfasst werden können.“ (Hörz 2002, S. 27) Das gilt auch heute noch und H. Moritz fordert uns wieder heraus, da ihn die Problematik weiter beschäftigt. Das Problem lässt ihn offensichtlich nicht los, berichtet er doch, dass er sich in seiner Doktorarbeit, als sein Professor meinte, in der Geodäsie seien schon alle Probleme gelöst, mit der „Fehlertheorie im Hilbert-Raum“ beschäftigte. An der Ohio State University (USA) konnte er sich dann mit

Problemen der Fehlertheorie in der Gravimetrie befassen. (Moritz 2008, S. 202) Nun betont er: Zufälligkeit und Regelmäßigkeit zeichnen das Chaos aus.

Wie steht H. Moritz zur stochastischen Denkweise? Er fragt: „Was kommt zuerst, Ordnung oder Chaos, klassische Physik oder Wahrscheinlichkeitstheorie? Die Chaostheorie gibt keine Pauschalantwort, aber sie ermöglicht eine Diskussion auf höherer Ebene.“ Mit Hinweis auf Astronomie und Meteorologie heißt es bei ihm, „die Voraussagen beider Disziplinen sind nur beschränkt gültig“, wobei die Größenordnungen verschieden seien, denn bei der Wettervorhersage ginge es um Tage, bei der Astronomie um Hunderte oder Tausende von Jahren. „Im Übrigen“, so betont er, „nehmen gerade Astronomen und Geodäten ihre Meßfehler mit besonderer Sorgfalt und Redlichkeit ernst“. Sein Fazit ist: „Beides, Ordnung und Zufall, Naturgesetz und Wahrscheinlichkeit, scheinen als These und Antithese zu unserer Welt zu gehören, und jeder denkende Mensch hat letztlich seine eigene Synthese zu finden.“ (Moritz 2004, S. 44f.) Diese ist auf der höheren philosophischen Ebene mit der statistischen Gesetzeskonzeption möglich. Sie verbindet in der Struktur objektiver Gesetze Notwendigkeit und Zufall, indem sie die bedingt notwendige Verwirklichung einer Möglichkeit des Systemverhaltens mit dem zufälligen Verhalten der Systemelemente zusammenführt.

Moritz stellt im Zusammenhang mit der Meteorologie die Frage nach der Exaktheit einer Wissenschaft und verbindet dies mit der mathematischen Differenzierung von richtig und falsch gestellten Problemen. Ein richtig gestelltes Problem erfülle die drei Grundbedingungen: 1. Eine Lösung existiert. 2. Die Lösung ist eindeutig. 3. Die Lösung hängt stabil von den Anfangsbedingungen ab. Da falsch gestellte Probleme oft vorkämen, seien sie besonders interessant. Er stellt fest: „Ja in einem ganz bestimmten mathematischen Sinn können wir sagen, daß ‚fast alle‘ mechanischen Systeme chaotischen Charakter haben“, was zu der Idee des „deterministischen Chaos“, zur Theorie der „nicht-linearen dynamischen Systeme“ führte, da die Nichtlinearität wesentlich sei. (Moritz 2004, S. 38) Viele „zufällige“ Erscheinungen der Wahrscheinlichkeitstheorie kämen aus der „Instabilität der Ausgangssituation.“ (Moritz 2004, S. 44)

Den Gedanken der Instabilität führt Moritz dann philosophisch weiter: „Instability implies a deviation from strict determinism, which may open even a little backdoor for freedom of the will.“ (Moritz 2006, S. 13) Um diesen Zusammenhang zwischen den objektiven Zufällen als Grundlage der Instabilität und dem menschlichen Verhalten herzustellen, bedarf es einiger Zwischenglieder. Zuerst geht es um den philosophischen Diskurs, der sich

mit essentiellen Problemen menschlichen Verhaltens einschließlich ihrer wissenschaftlichen Erkenntnisweise befasst. Philosophisches Denken ist nach Moritz „informell“, da es um nicht präzis formulierte Konzepte gehe und nicht-algorithmisches Denken sei. Das habe zwei Gründe, denn es gelte: (1) „The real world is necessarily fuzzy.“ (2) „Creative thinking is necessarily informal.“ (Moritz 2006, S. 16f.) Moritz verbindet diese Erkenntnisse dann mit der Fehlertheorie in der Geodäsie, da jede empirische Messung physikalischer Größen mit Unbestimmtheiten oder Ungenauigkeiten, wegen der Meßfehler zufälligen Charakters, verbunden sei. Die Länge eines Hauses sei nicht ideal exakt, sondern unscharf. Das gelte auch für die Winkelmessung in einem Dreieck. Hilfe böte dafür die Fehlerbehandlung nach Gauss. Wir haben es stets mit idealen Werten in unserem theoretischen Denken und unscharfen Werten in der Wirklichkeit zu tun, wobei wir versuchen, beide, entsprechend vorgegebenen Zielstellungen, einander anzunähern, ohne jemals vollständige Übereinstimmung zu erreichen.

Menschliches Denken sei dann „nicht-algorithmisch“, wenn es um schöpferische Ideen gehe und intuitiv Problemlösungen gesucht würden, während etwa Computer algorithmisch arbeiteten und deshalb niemals kreativ sein könnten. Ihnen fehle „Intuition“ und „Kreativität“. (Moritz 2006, S. 24) Man kann dieses Argument m.E. weiter präzisieren, wenn man Intelligenzstufen einführt. Sie sind dadurch bestimmt, dass jedes System, das eine Theorie über das Verhalten anderer Systeme, das deren Mechanismen erklärt, eine Stufe höher als das erklärte System ist. Insofern sind Menschen immer eine Intelligenzstufe höher als die von ihnen entwickelten und programmierten Computer als Denkzeuge. (Hörz 1996, S, 254) Dabei ist zu beachten, dass Menschen hier synonym für die Menschheit steht, in der sich Spezialisten mit der Entwicklung neuer Computer befassen, gegenwärtige schöpferische Lösungen zukünftige Routinearbeiten sind und jede Theorie mehr Potenzen enthält als zuerst angenommen wird.

Moritz benennt die Beziehung von mathematischer (exakter) Sprache und Umgangssprache, die unscharf ist. Sie sei extrem unpräzis, jedoch dadurch ein gutes Mittel für philosophisches, d.h. dialektisches, Denken. Menschen seien in der Lage auf niederem Niveau algorithmisch und zugleich auf höherem Niveau nicht-algorithmisch zu denken. Überpräzisierungen führten schnell zu Widersprüchen oder Missverständnissen. (Moritz 2006, S. 31) Moritz zieht dabei weitreichende Konsequenzen aus Einsichten in die Dialektik der Erkenntnis, wenn er schreibt: „Our thinking is affected by many uncertainties as we have seen. A positive outcome of this basic uncertainty of thin-

king should be the acceptance of pluralism in philosophy and of tolerance towards different religious beliefs.“ (Moritz 2006, S. 40) Methodologische Einsichten werden zu weltanschaulicher Lebenshilfe. Ein weites Feld, das hier nicht weiter zu bearbeiten ist.

Wir kommen nun zur Charakteristik der stochastischen Denkweise, die m.E. Überlegungen von Moritz zu Grunde liegt und von mir als philosophische Theorie im dialektischen Determinismus ausgearbeitet wurde.

4. Stochastische Denkweise

Unser Denken über die Wirklichkeit hat sich weiter entwickelt. Diskussionen um Kausalität und Determinismus zeigen, dass jede beschränkende Ansicht, wie etwa die im Laplaceschen Dämon ausgedrückte mechanistische Auffassung einer qualitätslosen Ablaufkausalität, später wieder aufgehoben wurde. Das Prinzip jedoch, dass jede Wirkung verursacht sei, war immer Anlass für neue Erkenntnisse. Es geht um eine Präzisierung unserer Auffassungen zur Kausalität ebenso, wie um die Aufdeckung der inneren Einheit von Gesetz und Zufall. Das geschieht mit der stochastischen Denkweise. Sie ist m.E. Bestandteil des dialektischen Determinismus.

Frühzeitig habe ich in den Debatten darauf aufmerksam gemacht, dass der Terminus „Determinismus“ oft mit der Auffassung eines Gesetzesautomatismus verbunden wird, ausgeprägt im Laplaceschen Dämon, wobei alle Ereignisse als vorausbestimmt und voraussagbar dann angenommen werden können, wenn wir komplexe Systeme aus kleinsten Teilchen aufgebaut denken, die unteilbar, träge und schwer sind, sowie konzentriert den Raum erfüllen. Ihre Bewegungen sind mit der klassischen Mechanik zu erfassen und erlauben exakte Voraussagen. Doch komplexe Systeme sind in ihrem Verhalten nicht einfach auf das Verhalten der Elemente zu reduzieren, da deren Wechselwirkung, d.h. die Systemstruktur, neue gesetzmäßige Beziehungen hervorbringt. Ich habe dem „klassischen Determinismus“ einen „dialektischen Determinismus“ (Hörz 1962) gegenübergestellt, dessen Grundlagen heute in Grundzügen in den Überlegungen zum „deterministischen Chaos“ zu finden sind. Zugleich ging es mir darum, mit der statistischen Gesetzeskonzeption zu zeigen, dass Natur und Gesellschaft sich nicht durch klassisch-deterministisches und stochastisches Verhalten unterscheiden lassen. Das ließen die Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen für die Naturprozesse nicht zu. Eine generelle Zufallsauffassung, die Natur und Gesellschaft umfasste, war zu erarbeiten. (Hörz 1980, 2008) Forschungen zur Selbstorganisation sind zu berücksichtigen. Sie führen zu einem präziseren Verständnis der

Interaktion von Systemen. Interaktion ist mit der Verursachung von Wirkungen (Kausalität) verbunden.

Die Erkenntnis der Kausalität vollzog sich in verschiedenen Stufen, die sich prinzipiell voneinander unterscheiden. So verwies Aristoteles auf vier Ursachengruppen, die in der Laplaceschen Stufe auf den vorausbestimmten Ablauf des Geschehens eingeschränkt wurden, während die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie die Rolle des Zufalls betonte. Die Determination des Geschehens erfasste der klassische Determinismus als eindeutige Vorausbestimmtheit allen Geschehens, was es prinzipiell vollständig voraussagbar machte. Dagegen sprechen praktische Erfahrungen, zu denen auch die der Geodäsie gehören, und theoretische Überlegungen, die die Entstehung von Neuem nur erklären können, wenn die Rolle des Zufalls beachtet wird.

Schon bei dem griechischen Atomisten Epikur wird das Fatum des Atomverhaltens durch Abweichungen von der Bahn unterbrochen, wodurch Neues in der Wechselwirkung entstehen kann. (Hörz, 1980, S, 22f.) Es ist der schöpferische Zufall, der Innovationen in Natur und Gesellschaft garantiert. Doch seine Schöpfungen verlaufen nicht regellos. Obwohl selbst wieder zufälligen Schwankungen unterworfen, sind sie durch Gesetzmäßigkeiten in ihrem Verhalten bestimmt. Dabei sind objektive Gesetze in allen von uns untersuchten Bereichen keine Automatismen, sondern Trendbestimmungen, die sich zufällig durchsetzen. Diesen Zusammenhang von Kausalität, Gesetz und Zufall erfassen wir in der stochastischen Denkweise, die der Wirklichkeit und unseren wissenschaftlichen Einsichten in sie angemessen ist.

4.1. Philosophische Grundsätze der stochastischen Denkweise

Worin bestehen die philosophischen Grundsätze der stochastischen Denkweise?

1. Grundlage der stochastischen Denkweise ist die Anerkennung des Kausalgesetzes, nach dem alle Wirkungen verursacht sind. Es ist prinzipielle Voraussetzung jeder Erkenntnis und des darauf basierenden Handelns. Auffassungen zur Kausalität haben sich jedoch im Lauf der Geschichte, in Abhängigkeit von neuen Erkenntnissen und Erfahrungen, geändert. Kausalität kann, befreit von der mechanistischen Beschränktheit, als direkte und konkrete inhaltlich und zeitlich gerichtete Vermittlung des Zusammenhangs gefasst werden, wobei Wechselwirkung zu Veränderungen (Wirkungen) führt, die durch innere und äußere Einwirkungen (Ursachen) auf Systeme ausgelöst werden. Sie ist Grundlage aller Formen des Zusammenhangs, so der Selbstorganisation mit Strukturbildung, der zufälligen Verwirklichung von Möglichkeiten, der Formierung des Inhalts, der In-

formation als widerspiegelnder und steuernder Struktur. Dabei ist Kausalität in Struktur- und Entwicklungsniveaus hierarchisch aufgebaut. Zufälle im Mikrokosmos führen zu Regularitäten im Meso- und Makrokosmos. Jede Theorie eines niedrigeren Entwicklungsniveaus ist Rahmentheorie für das Verhalten der Elemente eines Systems im höheren Entwicklungsniveau, ohne dieses Verhalten eindeutig bestimmen zu können. Jedes System hat seine eigenen Systemgesetze, die statistischen Charakter haben.

2. Das von uns untersuchte und gestaltete Geschehen ist gesetzmäßig. Es ist durch objektive Gesetze, eben durch allgemein-notwendige, d.h. reproduzierbare, und wesentliche, d.h. den Charakter der Erscheinung bestimmende, Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems reguliert, die wir erkennen und in unseren Theorien als Gesetze mehr oder weniger exakt formulieren. Gesetzmäßigkeiten sind ein angenommenes oder erkanntes System von Gesetzen, die ein Ereignis in seinen wesentlichen Aspekten bestimmen. Auf die Struktur der Gesetze in ihrer inneren Einheit von Notwendigkeit und Zufall ist bei der Darstellung der statistischen Gesetzeskonzeption einzugehen.
3. Die stochastische Denkweise ist vor allem durch die Anerkennung objektiver Zufälle bestimmt. Zufälle sind mögliche Ereignisse, die sich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit realisieren können, wenn die entsprechenden Bedingungen existieren, sich entwickeln oder durch Menschen geschaffen werden. Zufälle sind die Grundlage für Risiken, d.h. von Ereignissen, die mit einer Wahrscheinlichkeit eintreten können. Das Risiko (R) ist die Differenz zwischen dem sicheren Eintreten des gewünschten Ereignisses (1) und der Wahrscheinlichkeit. ($R = 1 - p$) Auch Risiken sind zu differenzieren. Das gesetzmäßige Risiko umfasst die aus den Bedingungsanalysen, der Erkenntnis von objektiven Gesetzen und vorgegebenen Handlungszielen ausgewählte Möglichkeit aus einem Möglichkeitsfeld, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (p) realisiert werden kann. Das Verhaltensrisiko drückt aus, wie Menschen unter konkret-historischen Bedingungen, entsprechend ihren sozialen Erfahrungen und ihrem Charakter, mit dem objektiven Risiko umgehen. Das Begleitrisiko ist durch Zufälle bestimmt, die vernachlässigbar oder nicht voraussagbar sind.
4. Die stochastische Denkweise ermöglicht eine philosophische Begründung menschlicher Freiheit. Sie ist auf sachkundigen Entscheidungen beruhendes verantwortliches Handeln der Menschen unter konkret-

historischen Bedingungen. Objektive Gesetze, Regularitäten und wesentliche Kausalbeziehungen geben uns mit Möglichkeitsfeldern und der bedingt zufälligen wahrscheinlichen Verwirklichung von bestimmten Möglichkeiten einen Handlungsspielraum. So hebt die stochastische Denkweise die Dichotomie zwischen kausalen Naturprozessen und stochastischer Gesellschaftsentwicklung auf, da sie die Existenz objektiver Zufälle in beiden Wirklichkeitsbereichen anerkennt. Sie wendet sich gegen die eindeutige Determiniertheit des Naturgeschehens ebenso, wie gegen die Annahme der Regellosigkeit der durch menschliches Handeln bestimmten Gesellschaftsveränderung. Objektiv mögliche Ereignisse vollziehen sich unter bestimmten Bedingungen. Menschen sind selbst Determinationsfaktoren für vorhandene und zu schaffende Bedingungen, weshalb sie objektive Gesetze in ihrem Sinne nutzen, wenn sie etwa Nutzpflanzen züchten, die möglich sind, doch in der Natur, ohne Pflege, eingehen würden. Menschen modifizieren mit ihren Handlungen die Gesetze in ihren statistischen Verteilungen und Möglichkeitsfeldern.

5. Die stochastische Denkweise findet eine ihrer Grundlagen in den Theorien der Selbstorganisation als Ausprägung philosophischer Gedanken zur Selbstbewegung der Materie. Selbstorganisation dient der Erhaltung, Veränderung und Auflösung von Systemen. Sie charakterisiert den Mechanismus des Geschehens. Die Forschungen zeigen, dass es keine eindeutige Zuordnung von bestimmten Ursachen zu bestimmten Wirkungen gibt. Mit Bifurkationen macht sie auf die Vielfalt von Formen des Zusammenhangs auf der Grundlage von Ursache-Wirkungs-Relationen in einem Ereignis und einem Prozess aufmerksam. In der Wirklichkeit existieren nur Nicht-Linearitäten, deren Grenzfall Linearitäten sind, nach denen wir zur Vereinfachung unserer Erkenntnis suchen. Wir müssen uns deshalb stets dieser Vereinfachungen bewusst sein. Insofern gehören zu einer nicht-linearen Denkweise auch linear formulierte Erkenntnisse, während eine lineare Denkweise philosophisch reduktionistisch Systeme auf Elemente, Besonderes auf Allgemeines, Kausalität auf mechanistische Kausalität reduziert und damit Problemreduktionen und Denkhemmnisse aufbaut.
6. Es gibt keine eindeutigen Voraussagen. Die klassischen Gesetze der Mechanik führen zu idealen eindeutigen Voraussagen, die ebenfalls mit realen Unbestimmtheiten behaftet sind, da vernachlässigbare Abweichungen existieren, die jedoch ignoriert werden können. In unserem Bestreben, mit unseren Idealisierungen die Welt zu symmetrisieren und die

Nicht-Linearität des wirklichen Geschehens zu linearisieren, sind wir an Grenzen gestoßen. Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelationen und das Gödelsche Theorem, Symmetriebrechungen in der Physik, die Mehrdimensionalität des Raumes, der Entropiesatz u.a. machen uns auf das von Moritz angesprochene fundamentale Problem der Unbestimmtheit aufmerksam. Wir können generell jedoch Trendaussagen über wirkliches Verhalten treffen, Risikoabschätzungen vornehmen und, basierend auf der Einsicht in relative Ziele des Geschehens, d.h. Möglichkeiten zukünftiger Entwicklung, Zielvorstellungen entwickeln und Bedingungen zu ihrer Verwirklichung gestalten. Ohne bewusste Gestaltung der natürlichen und gesellschaftlichen Umwelt und des eigenen Verhaltens treiben wir in die Katastrophe, da Menschen als Naturprodukte von der Erde verschwinden können oder sich selbst dem Untergang durch ihr Verhalten aussetzen.

4.2. Statistische Gesetzeskonzeption

Der dialektische Determinismus ist die philosophische Theorie der kausalen Bedingtheit und gesetzmäßigen Bestimmtheit der Objekte und Prozesse in Wechselwirkung mit anderen Objekten und Prozessen. Er ist, verbunden mit der philosophischen Entwicklungstheorie, die sich mit der Zyklizität des Geschehens befasst, philosophischer Ausdruck der stochastischen Denkweise. Theoretischer Kern ist die statistische Gesetzeskonzeption. Sie hebt theoretisch folgende Alternative auf, die oft als unausweichlich angesehen wird: Entweder nimmt man einen vorherbestimmten Ablauf des Geschehens an oder lässt nur das freie Spiel von zufälligen Wirkfaktoren gelten. Bleibt man dabei stehen, baut man sich Denkbarrieren auf. Um das zu vermeiden, haben wir uns von einer einseitigen Auffassung objektiver Gesetze zu befreien und deren statistischen Charakter zu analysieren. Es geht dabei nicht um zwei Gesetzestypen, sondern um die Bestimmung eines allen objektiven und von uns formulierten objektiven Gesetzen zu Grunde liegenden Verständnisses von den Gesetzen.

Ein statistisches Gesetz (Gesetzessystem) ist ein allgemein-notwendiger, d.h. wiederholbarer, und wesentlicher, d.h. den Charakter der Erscheinung bestimmender, Zusammenhang von Ereignissen, in dem eine Systemmöglichkeit unter den Systembedingungen sich notwendig verwirklicht, jedoch die Elementmöglichkeiten ein Möglichkeitsfeld bilden, von denen sich bestimmte Möglichkeiten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit realisieren. Es hat mit der notwendigen Verwirklichung der Systemmöglichkeit unter Systembedingungen erstens einen dynamischen Aspekt. Der stochastische

Aspekt umfasst zweitens Möglichkeitsfelder für das Elementverhalten, wobei Möglichkeiten durch bestimmte Realisierungswahrscheinlichkeiten ausgezeichnet sind, die die stochastische Verteilung ergeben. Drittens ist der probabilistische Aspekt zu beachten, da für den Einzelfall Übergangswahrscheinlichkeiten existieren, die für den Übergang von einem Zustand in einen anderen gelten.

Manche Gesetzesformulierung umfasst nur einen Gesetzesaspekt. So werden beim Fallgesetz, außer dem dynamischen Aspekt, die vorhandenen stochastischen und probabilistischen Aspekte, die Schwankungen um den freien Fall im Vakuum durch reale Bedingungen, vernachlässigt. Das Fallgesetz ist damit ein potenzielles statistisches Gesetz, während die Schrödingergleichung ein quantitativ bestimmtes statistisches Gesetz ist, da die stochastischen Verteilungen sich mathematisch aus ihm ableiten lassen. Für Gesetzesformulierungen, deren dynamischer Aspekt bekannt ist, weil die notwendige Verwirklichung einer Möglichkeit für das System erkannt ist, könnte man Möglichkeitsfelder für das Verhalten der Elemente entdecken und dafür Bestimmungen wie mehr, gleich oder weniger wahrscheinliche Realisierungen angeben. Das wären qualitativ bestimmte statistische Gesetze. Sie spielen m.E. in den Sozialwissenschaften eine wichtige Rolle.

Man kann auch die zyklische Struktur von Entwicklungsgesetzen untersuchen. Dabei sind Entwicklungszyklen zu berücksichtigen, die von einer Ausgangsphase über Zwischenstufen bis zur Endphase verlaufen, in der bestimmte Eigenschaften der Ausgangsphase zwar wieder auftreten, doch nur eine scheinbare Rückkehr zum Alten stattfindet, da die Funktionen der Ausgangsqualität nun qualitativ besser und quantitativ umfangreicher erfüllt werden. Die Phasen der Ausgangsqualität mit Möglichkeitsfeldern und der Realisierung einer Möglichkeit führen durch Negation der Grundqualität zu einem neuem Möglichkeitsfeld in einer neuen Phase, die zugleich die Möglichkeit einer dialektischen Negation der Negation enthält, die bei ihrer Realsierung eine dritte Phase einleitet. Solche Entwicklungsgesetze sind jedoch in allen Forschungsfeldern erst zu suchen. Sie können Langzeitzyklen umfassen, wie die Einheit von Theorie und Praxis im Herauslösen der Wissenschaft aus der praktischen Arbeit als Negation und die qualitativ höhere Verbindung von Wissenschaft und Gesellschaft als dialektische Negation der Negation. Die Geschichte liefert viele Hinweise auf solche noch nicht beendeten Zyklen, wie das Verhältnis von Individuum und Gemeinschaft, die Entwicklung soziokultureller Identitäten, die Herausbildung von Kreativitätspotenzialen

mit der Revolution der Denkzeuge. Erd- und Klimaentwicklung unterliegen ebenfalls zyklischen Gesetzen.

Wichtig für die statistische Gesetzeskonzeption ist unser Verständnis von Notwendigkeit, das differenziert zu betrachten ist. Es geht dabei keineswegs nur um eine lineare Auffassung von Unausweichlichkeit. Wir können drei Arten der Notwendigkeit unterscheiden. Erstens ist Notwendigkeit ein Prozess, in dem die betrachtete Endwirkung durch die Gesamtheit der Bedingungen bestimmt ist. Das ist eine Feststellung, die wir post festum treffen. Erst, wenn das Ereignis eingetreten ist, können wir sagen, die Gesamtheit der Bedingungen habe es notwendig hervorgebracht. Die Vielfalt der Ursachen lässt sich in den meisten Fällen, wegen der Komplexität des Ursachengefüges und auch wegen theoretischer Schwierigkeiten, nicht vollständig erfassen. Wir versuchen deshalb, eventuelle Hauptursachen herauszufinden. Liegt das Ereignis nicht im Rahmen unserer bisherigen Trendvorstellungen, erklären wir es als zufällig. Schon das macht deutlich, wie relativ die Zuordnungen von Notwendigkeit und Zufall zu bestimmten Ereignissen ist.

Notwendigkeit kann zweitens als direkte Bewirkung eines Ereignisses, wie Schuss und Treffer, gesehen werden, wenn komplexe Mechanismen beachtet werden, die selbst in den einfachsten Ereignissen existieren. Selbst wenn ich mit dem Hammer einen Nagel einschlage oder in der Geodäsie ein Instrument einstelle, ist die einfache direkte Notwendigkeit zwischen Ursache und Wirkung nur dann gegeben, wenn die Umstände kein anderes Ergebnis als das angestrebte hervorbringen. Der Hammer kann die Hand treffen, das Instrument fehlerhaft sein. Das gewollte Ergebnis wird zwar nicht erreicht, doch die Ursachen für nicht erreichte Zielstellungen sind zu finden. Diese Problematik beschäftigte mich bei der Aufdeckung von Kausalitäten in strafrechtlichen und vertragsrechtlichen Verfahren. Kausalität ist Grundlage für die Bestimmung der Schuld, entsprechend den Rechtsnormen. Vor etwa dreißig Jahren wurde in der DDR auch nach meiner Kausalitätsauffassung in manchen Fällen Recht gesprochen, wobei einseitige Auslegungen eine Rolle spielten. Deshalb war das Verhältnis von Ursache und Bedingungen genauer zu bestimmen. (Hörz 1962, 4. Aufl. 1971, S. 139ff.) Nach der statistischen Gesetzeskonzeption ist ein Ereignis durch einen Gesetzeskomplex bestimmt. Es ist also in der Regel nicht möglich, ein bestimmtes objektives Gesetz zu finden, das den zu untersuchenden Fall prägt. Herauszufinden waren wesentliche Kausalbeziehungen im Zusammenhang mit den Bedingungen. Man kann nun mit der stochastischen Denkweise das Problem so angehen: Eine Endwirkung entstand durch die Einwirkung mehrerer Faktoren auf einen Be-

dingungskomplex, der ein Möglichkeitsfeld für Wirkungen hervorbrachte, die sich mit bestimmter Wahrscheinlichkeit verwirklichen konnten. Nur dann, wenn eine der Ausgangsursachen mit Gewissheit oder hoher Wahrscheinlichkeit zur Endwirkung führt, ist Kausalität gegeben. Die Einbeziehung der Wahrscheinlichkeit lehnten einige Kontrahenten ab. In einem Fall ging es um die Pflichtverletzung eines Arbeitsschutzbeauftragten als Ausgangsursache, die zur Endwirkung, der tödlichen Verletzung eines Kranführers geführt haben sollte. Die Analyse ergab, dass keine eindeutige Beziehung zwischen dieser Anfangsursache und der Endwirkung bestand, weshalb keine Kausalität nachgewiesen werden konnte. Der Vorwurf der fahrlässigen Tötung war deshalb fallenzulassen und nur die Pflichtverletzung zu ahnden. Oft macht man sich nicht klar, wie unsere philosophischen Hintergrundtheorien unser Handeln bestimmen, auch in allen Einseitigkeiten und mit allen Fehleinschätzungen.

Drittens haben wir es mit der Notwendigkeit gesetzmäßigen Verhaltens zu tun. So ist für wissenschaftliche Erkenntnis von Gesetzen nicht die postfestum deklarierte und auch nicht die einfache direkte Notwendigkeit entscheidend, sondern die allgemeine Notwendigkeit, die Wiederholbarkeit von Ereignissen unter gleichen wesentlichen Bedingungen. Sie ist die von uns zu suchende Gesetzmäßigkeit des zu gestaltenden Geschehens. Objektive Gesetze als allgemein-notwendige, d. h. reproduzierbare Beziehungen, die der Erkenntnis als Grundlage sachkundiger Entscheidungen dienen, sind keine unausweichlichen Vorgänge. Sie bieten Spielräume. Eben das wird in der statistischen Gesetzeskonzeption erfasst.

4.3. Kriterien der Exaktheit

Was meinen wir, wenn wir von der Exaktheit einer wissenschaftlichen Aussage sprechen? Eine Antwort führt uns zu der von Moritz aufgegriffenen Problematik der algorithmischen und informellen Sprache. Die algorithmische Sprache sei exakt, während die informelle unpräzise, ungenau sei. Ich erinnere mich dabei an meine Diskussion mit Werner Heisenberg, der immer die Unschärfe philosophischer Begriffe betonte, die jedoch dadurch langlebig seien. Man kann m. E. von einer Unbestimmtheitsrelation im Verhältnis von Sprache und Wirklichkeit sprechen: Je präziser die Begriffe definiert werden, desto weniger erfassen sie die Wirklichkeit. Je genauer die Wirklichkeit in unserer Sprache erfasst wird, desto unpräziser werden die Begriffsdefinitionen. Das hat Auswirkungen auf die Beziehung zwischen Inhalt und Umfang der Begriffe. Eine exakte Bestimmung des Inhalts schränkt den Umfang ein. Die Feststellung allgemeiner Merkmale in einer Definition, verbunden mit

vielen Variablen, erweitert den Umfang. Solche allgemeinen Begriffe sind, eben, weil sie unscharf sind, oft langlebiger. Das gilt auch für philosophische Begriffe. Sie sind als philosophisch definiert, wenn sie allgemeine notwendige und hinreichende Antworten auf die weltanschaulichen Grundfragen nach der Existenzweise und Entwicklung der Welt, nach der Stellung der Menschen in der Welt, nach den Quellen unseres Wissens, nach dem Sinn des Lebens und nach dem Charakter der gesellschaftlichen Entwicklung geben. Grade der Allgemeinheit sind zu unterscheiden. Auf der allgemeinsten Ebene haben wir es mit Beziehungen von Materie und Bewusstsein, von Leib und Seele, von Struktur und Entwicklung zu tun. Solche Auffassungen werden mit dem Wissen einer Zeit präzisiert und dadurch beleg- und widerlegbar. Daraus ergeben sich philosophische Hypothesen über mögliche zukünftige Erkenntnisbeiträge zur Philosophie durch neue wissenschaftliche Einsichten. Dadurch wird Philosophie als Welterklärung zur Heuristik und durch die Beantwortung von Sinnfragen zu weltanschaulicher Lebenshilfe. Auch solche philosophischen Aussagen sind unterschiedlich präzis.

In einem Brief an Moritz Schlick von 1932 verdeutlichte Heisenberg das Problem. Er betonte die Bedeutung des Logikkalküls für klares und sauberes Denken und hob zugleich hervor, dieses Denkinstrument sei noch keine Philosophie. Er glaube generell nicht an die Möglichkeit einer wirklich klaren Sprache. Er verwies dabei auf die Ergebnisse von Gödel. Doch es sei „ihm lieber, über wichtige Dinge unklar, als über unwichtige klar diskutieren zu hören. … Ich glaube, das beste, was sich erreichen lässt, ist: Klarheit zu schaffen an der einen kleinen Stelle, wo ein Widerspruch uns auf die Unklarheit verweist.“ (Kleint u.a. 2005, S. 349)

Die Frage nach der Exaktheit ist so eine Frage nach der Struktur wirklicher Beziehungen und ihrer möglichen Erfassung in der Sprache. Mathematik als Wissenschaft von den formalisierbaren möglichen Strukturen ideeller Systeme erfasst die Wirklichkeit unter bestimmten Aspekten. Sie ist insofern wesentlich Strukturtheorie. Die Beantwortung von Sinnfragen, d.h. Fragen nach den konkret-historischen Werten menschlichen Verhaltens als Bedeutungsrelationen von Sachverhalten für soziokulturelle Identitäten, die Nützlichkeit, Sittlichkeit und Ästhetik umfassen, ist Aufgabe der Philosophie. So erweitert die unpräzise Sprache zwar unsere Problemsicht, doch ist zugleich Präzisierung im Sinne der Idealisierung erforderlich, was durch klare Definitionen und eventuell durch den Einsatz mathematischer Methoden erreicht werden kann, uns jedoch zwingt, die Ergebnisse als Heuristik zur Lösung praktischer Probleme anzusehen.

Man kann m.E. für die wissenschaftliche Erkenntnis zwei wesentliche Kriterien der Exaktheit unterscheiden, ein theorie- und ein praxisorientiertes. In Auseinandersetzung mit der Auffassung von Kant, Chemie könne zwar systematische Kunst oder Experimentallehre, doch niemals Wissenschaft werden, da ihre Prinzipien der Anwendung der Mathematik unfähig seien, betonte ich: „Damit entstehen erkenntnistheoretische Schwierigkeiten für die Chemiker, denen nicht in erster Linie an der mathematischen Formulierung allgemeiner Gleichungen, sondern an der praktischen Verwertung der Erkenntnisse, vor allem im industriellen Bereich, liegt. Philosophisch gesehen geht es um unterschiedliche Bestimmungen der Exaktheit wissenschaftlicher Aussagen. Dabei ist das Ziel von Wissenschaft zu beachten. Sie formuliert einerseits in sich konsistente axiomatisierte Theorien und liefert andererseits Erkenntnisse für praktisches Handeln. Beides kann zwar im Extremfall zusammenfallen, wenn eine Theorie mathematisch vollständig ausgebildet ist und die Transformationen der allgemeinen Zustände in meßbare Größen sowie die Ausgangs- und Randbedingungen bekannt sind. Das ist jedoch selten der Fall. … Philosophisch interessant wird es, wenn man untersucht, welche Arten der Exaktheit wissenschaftlicher Aussagen existieren. So ist es sinnvoll, zwischen theoretisch und praktisch orientierter Exaktheit zu unterscheiden. Bedeutet exakt die Einordnung in eine mathematisch formulierte Theorie, dann ist die Definition theoriebezogen, strenger mathematikbezogen. Umfang und Inhalt der Begriffe werden an der Theorie und nicht an ihrer Bedeutung für die Erklärung und Gestaltung der Wirklichkeit gemessen. … Dagegen verlangt eben wirklichkeitsbezogene Exaktheit von Definitionen und theoretischen Aussagen, dass die abgeleiteten Orientierungen für das Handeln den gedachten Zweck erreichen lassen. So werden nicht selten theoriebezogene Aussagen durch Praktiker theoretisch zwar unexakt korrigiert, aber wirklichkeitsbezogen erst mit der Korrektur effektiv umgesetzt. Entscheidend für die Bewertung der Exaktheit ist also der Bezug zur Theorie oder zur Gestaltung der Wirklichkeit und nicht allein die mathematische Formulierung. … Es kommt immer auf die richtige Mischung von mathematischer Exaktheit und Einsicht in die Ordnung der Wirklichkeit an, um brauchbare Schlüsse zu erhalten.“ (Hörz 1994, S. 12f.)

5. Methodologische Konsequenzen für die Geodäsie

Zuerst ist zu berücksichtigen, dass die Methoden der Geodäsie sich selbst entwickelt haben, was Auswirkungen auf die Methodologie, also das System der Methoden, hat. Generell bewegen sie sich zwischen drei grundlegenden

Sicht- und Gestaltungsweisen der Wirklichkeit durch Menschen: gegenständliche Aneignung (Beobachtung, Experiment), rationale Aneignung (Begriffe, Theorien, Mathematik), historische Sicht, denn jede gegenwärtige Struktur ist geronnene Entwicklung. Die Geodäsie ist auf die praktische Gestaltung, auf die Einheit von induktiv-heuristischer und logisch-deduktiver Methode ebenso angewiesen, wie auf die historische Sicht, wenn sie die Struktur des Geoids als Rahmentheorie in ihre Beobachtungen einbezieht und zur Grundlage für die Deutung der Daten nimmt. Dabei haben sich Wandlungen von der vorwiegenden Feldarbeit zur Interpretation experimenteller Daten mit neuen Mitteln, auch von der praktischen zur theoretischen Arbeit, vollzogen, da das Datensammeln auch durch Geräte erfolgt.

So macht Horst Montag auf den hohen Genauigkeitssprung durch die Satellitengeodäsie aufmerksam. „Erstmals wurde eine globale Vermessung der Erde mit geodätischer Genauigkeit möglich. Damit ist eine Vielzahl neuer Erkenntnisse über die Größe und Figur der Erde, über geometrische und physikalische Parameter der Erde, verbunden. Die hohe Genauigkeit enthüllte auch die zeitliche Variation der meisten dieser Parameter.“ (Montag 2004, S. 14) Höhere Genauigkeit hat seinen erkenntnistheoretischen Preis, denn der Zeitfaktor ist einzubeziehen.

Versuchen wir kurz einige der methodologischen Konsequenzen aus der stochastischen Denkweise für die Geodäsie zu charakterisieren:

1. Entsprechend der stochastischen Denkweise haben wir stets darauf zu achten, die Idealisierungen in das rechte Verhältnis zur Aufgabe zu setzen. Größere Genauigkeit dient bestimmten Zielstellungen, wie erforderliche Messunterlagen zur Planung und Gestaltung, Wahrnehmung von Hoheitsaufgaben, Erweiterung des methodischen Instrumentariums, wissenschaftliche Erkenntnissuche, um nur einige zu nennen. Was kann mit welchen Kosten zu welchem Zweck erreicht werden? Welche Ungenauigkeiten sind dabei zu tolerieren? Welche Fehler können ignoriert werden? Diese Fragen sind konkret zu beantworten.
2. Es gibt keine fehlerfreie Messung. Es kommt immer zu Messfehlern, korrekter zu Messabweichungen. Deshalb unterscheidet man zwischen dem wahren und dem richtigen Messwert, der wahre ist eine Idealgröße, die wir nicht kennen, der richtige Wert der Messgröße ist der „bekannte Wert“ für Vergleichszwecke, dessen Abweichung vom wahren Wert für den Vergleichszweck als vernachlässigbar betrachtet wird. Es gilt also generell: So exakt, wie nötig!
3. Genauigkeit wird auf Kosten der Einfachheit erreicht. Je genauer man

messen will, desto mehr Beziehungen sind zu berücksichtigen. Das drückt die Feststellung im Zusammenhang mit den durch kosmisch-geodätische Verfahren erreichten höheren Genauigkeit von zwei bis drei Zehnerpotenzen im Vergleich mit den astronomischen Verfahren aus: „Wegen dieser hohen Genauigkeit müssen heute viele weitere geodynamische Effekte berücksichtigt und eliminiert werden.“ (Montag 2004, S. 21) Das bedeutet nicht etwa, dass komplexe Systeme nur mit komplizierten Regeln zu erfassen sind. Jedes System hat eigene Systemgesetze, die es zu finden gilt.

4. Die Ursachen für Messabweichungen sind zu analysieren. Dabei spielen Fehlergruppen, wie sie bei Baeyer vorkamen, auch heute eine Rolle, um sie auszuschließen: menschliches Verhalten, funktionierende Instrumente, entsprechende Methoden, Umwelteinflüsse, Rahmentheorie und Interpretation. Bei allem ist das stochastische Verhalten im Sinne der Instabilitäten zu berücksichtigen.
5. Mit den Zielstellungen sind auch die Kriterien der Exaktheit verbunden. Geht es um eine praktikable exakte Lösung oder um eine exakte idealisierte Theorie. Beides wirkt im Sinne der Heuristik aufeinander ein und ist nur in seltenen Fällen deckungsgleich.

6. Schlussbemerkung

Die Beziehung zwischen Unbestimmtheit und Exaktheit ist wesentlich für die Methodologie der Wissenschaften. Es sind für die wissenschaftliche Erkenntnis die Fragen zu beantworten: Entspricht unsere Denkweise schon den neuen Erkenntnissen über die Nicht-Linearität des Geschehens? Welche Kriterien legen wir dem Urteil über die Exaktheit unserer Erkenntnisse zu Grunde? Verbinden wir Modellbildung mit Modellkritik? Wie sehen Risikoabschätzungen aus, da wir keine exakten Aussagen über die Wirklichkeit gewinnen können? Philosophische Antworten liefert die statistische Gesetzeskonzeption im dialektischen Determinismus: Sie stimmen grundsätzlich mit Überlegungen von Moritz zur Methodologie der Wissenschaften überein, da sie allgemeine Aspekte der von ihm angesprochenen Beziehungen von Zufall und Determiniertheit im „deterministischen Chaos“ erfassen.

Die damit verbundenen philosophischen Probleme sind weiter aktuell. So gab es in der „Frankfurter Allgemeinen Zeitung“ 2008 eine Debatte zum Problem der Willensfreiheit, in der Dieter Eichrodt in der Zuschrift zum Thema „Determinismus und Naturgesetze sind unvereinbar“ (Eichrodt 2008) betonte, man habe die klassischen Dualismen „Leib-Seele“ und „Geist-Mate-

rie“ als obsolet zu verabschieden und solle sich auf die experimentell abgesicherten Dualismen „Chaos-Kosmos“, „Entropie-Synergie“, „Zufall-Notwendigkeit“, die auf das Gleiche hinausliefen, beschränken. Naturgesetze beherrschten zwar das natürliche Geschehen, doch sie bestimmten es nicht, da Anfangs- und Randbedingungen zu den Gesetzen hinzukämen, die nicht aus den Gesetzen abzuleiten seien und die doch erst die Prozesse determinierten. Dieses Problem wird eben in der statistischen Gesetzeskonzeption aufgegriffen und als Theorie entwickelt. Darüber ist weiter zu debattieren, um die unserer Zeit und der Entwicklung der Wissenschaften angemessene philosophische Denkweise mit ihren methodologischen Konsequenzen für die Wissenschaft zu finden. Es ist m.E. die stochastische Denkweise, die auch Helmut Moritz favorisiert, wie ich zeigen wollte.

Literatur:

Buschmann, Ernst (Hrsg.) (1994), Aus Leben und Werk von Johann Jacob Baeyer, Frankfurt am Main: Verlag des Instituts für angewandte Geodäsie

Eichrodt, Dieter (2008), Determinismus und Naturgesetze sind unvereinbar, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 19.9.2008

Harnisch, Martina und Günter (1993), Helmerts Arbeiten zur physikalischen Geodäsie, in: Friedrich Robert Helmert, Akademie-Vorträge, Frankfurt am Main: Verlag des Instituts für angewandte Geodäsie, S. 37–77

Helmert, Friedrich Robert (1993), Akademie-Vorträge, Frankfurt am Main: Verlag des Instituts für angewandte Geodäsie

Hörz, Herbert (1962), Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften (2. Aufl. 1966, 3. Aufl. 1969, 4. Aufl. 1971, 5. Aufl. 1974)

Hörz, Herbert (1980), Zufall. – Eine philosophische Untersuchung. Berlin: Akademie-Verlag

Hörz, Herbert (1992), E. Buschmann: Gedanken über die Geodäsie. Einige naturwissenschaftliche, technische, philosophische und wirtschaftliche Aspekte, Stuttgart 1992. In: Deutsche Literatur Zeitung (DLZ), 113 (1992) 9–10, Sp. 549–551

Hörz, Herbert (1994), Philosophische Aspekte der Chemie, 7. Stuttgarter Chemietage, Chemisches Institut Dr. Flad Stuttgart

Hörz, Herbert (1996), Reflections on a Philosophical Notion of Information. In: K. Kornwachs, K. Jacoby (eds.): Information. New Questions to a Multidisciplinary Concept. Berlin: Akademie-Verlag, S. 245–257.

Hörz, Herbert (2000), Naturphilosophie als Heuristik? Korrespondenz zwischen Hermann von Helmholtz und Lord Kelvin (William Thomson). Marburg: Basilisken-Presse

Hörz, Herbert (2002), Heisenberg – Determinismus und die Folgen, in: Gotthard Klose, Kurt Reiprich (Hrsg.), Werner Heisenberg, Vorträge zum 100. Geburtstag, Rohrbacher Kreis, Sonderheft, Leipzig: Rosa-Luxemburg-Stiftung Sachsen e.V., S. 21–48

Hörz, Herbert (2007), Wahrheit, Glaube und Hoffnung. Philosophie als Brücke zwischen Wissenschaft und Weltanschauung. Berlin: trafo Verlag

Hörz, Herbert (2008), Statistische Gesetzeskonzeption. Zur Genese einer philosophischen Theorie, in: Gerhard Banse, Herbert Hörz, Heinz Liebscher, Von Aufklärung bis Zweifel. Beiträge zu Philosophie, Geschichte und Philosophiegeschichte. Festschrift zum 75. Geburtstag von Siegfried Wollgast, Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 25, Berlin: trafo Verlag; S. 129–152

Kautzleben, Heinz (2008), Poster zum Kolloquium am 14.11.2008 über sieben große Geodäten

Kleint, Christian, Rechenberg, Helmut, Wiemers, Gerald (Hrsg.), Werner Heisenberg. 1901-1976. Beiträge, Berichte, Briefe. Festschrift zum 100. Geburtstag. Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Band 62. Leipzig: Verlag der Sächsischen Akademie der Wissenschaften

Montag, Horst (2004), Gedanken zur faszinierenden Entwicklung der Geodäsie seit den 1950er Jahren, in: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 70, Berlin: trafo Verlag, S. 13–24

Moritz, Helmut (1995): Science, Mind and the Universe: an Introduction to Natural Philosophy, Heidelberg: Wichmann

Moritz, Helmut (2001), Gauss, Gödel, Heisenberg, in: Historical Case Studies in Physics und Geophysics, collected and edited by Wilfried Schröder, Beiträge zur Geschichte der Geophysik und Kosmischen Physik, Bd. II, Heft 1, Science Edition, AKGGKP, Bremen-Rönnebeck

Moritz, Helmut (2004), Chaostheorie und Meteorologie, in: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 71, Berlin: trafo Verlag, S. 37–46

Moritz, Helmut (2006), Science, Religion and Tolerance, in: Wilfried Schröder (Ed.), Natural Science, Philosophy and Religion, Darmstadt: Science Edition, S. 7–52

Moritz, Helmut (o.J.), http://www.helmut-moritz.at/SciencePage/Uncertainty1.pdf

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 107–113*

Heinz Kautzleben und Günter Leonhardt

Der Dresdener Geodät Horst Peschel 1909–1989

Das Kolloquium „Wissenschaftliche Geodäsie“ am 14. November 2008 ist auf absehbare Zeit die letzte Veranstaltung der Leibniz-Sozietät, in der Themen zur Geschichte der Geodäsie behandelt werden. Es soll deshalb auch dazu genutzt werden, des Dresdener Geodäten Horst Peschel zu gedenken und seine Leistungen für die Entwicklung der Geodäsie zu würdigen. Die Würdigung Peschels im Kolloquium, das zu Ehren des Mitgliedes der Leibniz-Sozietät Helmut Moritz veranstaltet wird, ist keineswegs zufällig.

Horst Peschel, geboren am 29.09.1909 in Dresden und daselbst verstorben am 11.04.1989, war von 1950 bis in die 1980er Jahre hinein der führende Geodät in dem Teil Deutschlands, den er als seine Heimat betrachtete, die er unter keinen Umständen verlassen wollte und für deren Wohl er sich mit allen seinen Kräften als Wissenschaftler und als Organisator, Koordinator und Repräsentant von Wissenschaft und Technik eingesetzt hat.

Horst Peschel war mit Leib und Seele Geodät. Er hat in den 1930er Jahren an der damaligen Technischen Hochschule Dresden Vermessungswesen studiert und zum Dr.-Ing. promoviert und strebte an ihr auch eine Laufbahn als Hochschullehrer auf diesem Gebiet an. Der 2. Weltkrieg, in dem er Kriegsdienst leisten musste, erschwerte ihm den Einstieg. Zur Mitwirkung beim Neuanfang an seiner Alma Mater nach dem Kriegsende wurde er zunächst nicht zugelassen, obwohl er nur nominelles Mitglied der NSDAP gewesen war. (Später hat er sich niemals wieder parteipolitisch gebunden.) Dennoch blieb er in Dresden. 1950 war die Zeit gekommen, dass die nahezu ausgeblutete Hochschule ihn zum ordentlichen Professor für Landesvermessung und Katasterwesen und zum Direktor ihres Geodätischen Institutes berufen konnte. Er hat der Technischen Hochschule Dresden, ab 1961 Technische Universität Dresden, fortan treu gedient und sie nie im Stich gelassen. 1974 wurde er mit Erreichen der gesetzlichen Altersgrenze emeritiert, war jedoch bis an sein Lebensende noch weiter aktiv.

Prof. Dr.-Ing. Peschel begann seine Tätigkeit an der TH Dresden, als das Vermessungswesen im Ostteil Deutschlands, der seit dem Kriegsende von der Sowjetarmee besetzt war und sich 1949 als DDR im sozialistischen Staatenverbund staatlich konstituiert hatte, neu aufgebaut wurde. Vorrangige Aufgaben waren dabei die Eingliederung des Territoriums der DDR in das geodätische System der UdSSR und die Ausbildung der benötigten Fachkräfte. Die TH Dresden war zu dieser Zeit in der DDR die einzige akademische Ausbildungsstätte für die sich stürmisch entwickelnden Gebiete der Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie. (Das blieb so bis zum Ende der DDR.) Die TH Berlin-Charlottenburg stand für DDR-Bürger nicht mehr zur Verfügung, da Westberlin durch die Spaltung Berlins von seinem natürlichen Umland getrennt worden war. Damit war auch der Lehrstuhl für Höhere Geodäsie an der TH Berlin, der 1886 für Friedrich Robert Helmert an der Friedrich-Wilhelms-Universität gegründet (er wurde 1928 an die TH Berlin-Charlottenburg verlegt) und seitdem immer von führenden Wissenschaftlern des Preußischen Geodätischen Institutes Potsdam besetzt worden war, für die Geodäsieausbildung in der DDR verloren gegangen. Hier sei erwähnt, dass Helmut Moritz diesen Lehrstuhl von 1964 bis 1971 innehatte.

Parallel zum Neuaufbau des Vermessungswesens in der DDR wurden die Ausbildungsmöglichkeiten für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie an der TH Dresden wesentlich erweitert. Horst Peschel hatte großen Anteil daran, dass die dafür befähigten Hochschullehrer gewonnen wurden – unter ihnen Hans-Ullrich Sandig, Wolfgang Pillewitzer, Walter Zill und Werner Rüger. Seine besten Schüler gelangten sehr bald in allen staatlichen und wirtschaftlichen Bereiche, wo geodätische Aufgaben zu erfüllen sind, in verantwortliche Positionen. Sehr wichtig und zukunftsweisend war in den ersten Jahren, dass die sowjetischen Schulen der Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie in der DDR bekannt wurden. Horst Peschel war es ein besonderes Anliegen, dass die sowjetischen Lehrbücher und wichtigen Monographien ins Deutsche übersetzt wurden. Sie wurden dadurch sehr schnell auch im gesamten deutschsprachigen Raum bekannt, sicher auch noch weiter im gesamten Westen. Die Übersetzungen ins Englische folgten einige Jahre später. Zu nennen ist an erster Stelle die Monographie von Michail Sergejewitsch Molodenskij „Grundbegriffe der gravimetrischen Geodäsie“, die 1958 im Berliner Verlag Technik erschien. Helmut Moritz hat immer wieder betont, dass er aus diesem Buch die fundamentalen Theorien von Molodenskij kennen gelernt und auf diese Weise sein lebenslanges Forschungsgebiet gefunden hat.

Die unmittelbaren Forschungsinteressen von Horst Peschel an seiner Hochschule galten zeitlebens einer eigentlich schmalen Thematik: dem Präzisionsnivellement. Er erkannte aber sehr früh ihre große Bedeutung für die Erfassung der geowissenschaftlich und praktisch wichtigen rezenten Bewegungen der Erdkruste (RCM). Tatkräftig förderte er die wissenschaftliche Vorbereitung und Auswertung der Wiederholungsnivellements, die in allen damals sozialistischen Ländern durchgeführt wurden, und unterstützte sofort die sich zu dieser Thematik entwickelnde innerstaatliche und internationale Zusammenarbeit. Verwiesen sei u. a. auf: die Entwicklung des motorisierten Präzisionsnivellements, die 1. Internationale Konferenz über RCM 1961 in Leipzig, die Aufnahme der Thematik in das Arbeitsprogramm der KAPG (d.h. Kommission der Akademien sozialistischer Länder zum komplexen Problem „Planetare geophysikalische Forschungen“) bei deren Konstituierung 1966 in Leipzig, die Zusammenstellung der Karte der rezenten Krustenbewegungen in den sozialistischen Ländern und deren Vorlage zur Generalversammlung der IAG 1971 in Moskau.

Horst Peschel hat zeitlebens den Einsatz der ihm anvertrauten Mitarbeiter für Forschungsaufgaben im Rahmen internationaler Programme gefördert. Seine Motive dafür waren sowohl die wissenschaftlichen Ziele seines Faches wie auch das Bestreben, mit seinen fachlichen Möglichkeiten dem Wohle seiner Heimat und seiner Mitbürger zu dienen. Sehr deutlich wird das in seinem Engagement für die Beteiligung von Bürgern der DDR an der Erforschung polarer Gebiete. Dabei handelt es sich einesteils um die Entsendung von zwei selbständigen Expeditionen der DDR zu komplexen geodätisch-glaziologischen Untersuchungen nach Spitzbergen im Jahre 1962 bzw. 1964-1965. Die Anregung dafür kam von Pillewitzer. Zum andern betrifft es den vielfachen Einsatz von Teilnehmergruppen der DDR an den Sowjetischen Antarktisexpeditionen (SAE) auf Einladung der Akademie der Wissenschaften der UdSSR an die Akademie der DDR. Nachdem auf Initiative von Horst Philipps, seinerzeit Direktor des Meteorologischen Dienstes der DDR und Präsident des Nationalkomitees der DDR für das Internationale Geophysikalische Jahr 1957/58 (IGJ) und die sich anschließende Internationale Geophysikalische Kooperation (dieses Komitee wurde 1962 mit dem Landesausschuss der DDR für die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik zum Nationalkomitee der DDR für Geodäsie und Geophysik – NKGG – vereinigt), 1959 erstmals Meteorologen der DDR an der 5. SAE teilgenommen hatten, brachte es Horst Peschel fertig, dass an der 7. SAE 1961-63 erstmals auch Geodäten der DDR teilnahmen, und zwar waren es Georg Dittrich von der Berg-

akademie Freiberg/Sachsen und sein Schüler Georg Schwarz von der TU Dresden. Horst Peschel, der nach dem plötzlichen Tod von Philipps (neben seinen vielfältigen anderen Verpflichtungen) 1963 zum Präsidenten des NKKG der DDR berufen wurde und dieses Amt bis zum Jahre 1984 ausfüllte, sorgte bis in die 1970er Jahre dafür, dass von 1962 an geodätische, gravimetrische und komplex-geodätisch-glaziologische Untersuchungen zum festen Bestandteil des Arbeitsprogramms der DDR-Teilnehmergruppen an den SAE und in den sowjetischen Antarktisstationen gehörten.

An der TH Dresden war Horst Peschel durch seine Tätigkeiten als Verantwortlicher für die Geodäsie mehr als ausgefüllt. Dennoch versagte er sich nicht weitergehenden Anforderungen. Im Kreise seiner Kollegen und im näheren und weiteren Umfeld war sehr schnell bekannt geworden, dass er neben der berufstypischen Befähigung zum korrekten und effektiven Organisator exorbitante Fähigkeiten und Neigungen besaß, Wissenschaft und Technik wirksam zu vertreten. Die Anforderungen an ihn verliefen in mehreren Richtungen.

1954 wurde er für vier Jahre zum Rektor der Technischen Hochschule Dresden gewählt, in der anschließenden Wahlperiode war er Stellvertreter des Rektors. Die TH Dresden war damals die einzige Technische Hochschule in der DDR; sie wurde stark ausgebaut; erst später kamen weitere hinzu. Es war damals folgerichtig, dass der Rektor der TH Dresden im Anschluss an sein Rektorat zum (ehrenamtlichen) Präsidenten der Ingenieurorganisation in der DDR gewählt wurde. Die Kammer der Technik vereinigte zahlreiche Fachverbände; sie hatte rund 300 Tausend Mitglieder und war in allen größeren Betrieben und wissenschaftlich-technischen Instituten tätig. Horst Peschel wurde 1959 erstmals für fünf Jahre zum Präsidenten der KdT gewählt, danach noch zweimal wiedergewählt, 1974 wurde er ihr Ehrenpräsident.

Seine große Liebe gehörte jedoch auch in dieser Zeit dem Vermessungswesen und den Geowissenschaften. Als Präsident der KdT setzte er sich erfolgreich dafür ein, dass in ihr eine Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie gebildet wurde und aktiv tätig sein konnte. Auch darin kommt die Erkenntnis zum Ausdruck, zu der er in den 1950er Jahren gelangt sein muss, dass unter den Bedingungen des Ost-West-Gegensatzes die traditionellen organisatorischen Verbindungen mit den Fachkollegen in der Bundesrepublik Deutschland nicht helfen konnten, die Leistungsfähigkeit der Wissenschaft in seinem engerem Heimatland zu fördern und ihre internationale Isolation zu überwin-

den. Unter diesem Aspekt sollte auch gesehen werden, dass Horst Peschel 1952 die Berufung zum ordentlichen Mitglied der Deutschen Geodätischen Kommission in der BRD annahm und 1967 die ihm erteilte Weisung zum Austritt aus der DGK ohne Einspruch befolgte. Die Loyalität als Staatsbürger der DDR hat ihn jedoch niemals daran gehindert, mit den Fachkollegen der BRD die wissenschaftliche Zusammenarbeit zu suchen. Viele von ihnen kannte er noch aus seinen Studien- und ersten Wissenschaftlerjahren. Mit jüngeren knüpfte er schnell gute Kontakte, manchen ebnete er den Weg in die DDR. Helmut Moritz erinnert immer wieder daran, dass Horst Peschel ihn als soeben (1964) zum Professor an der TU Berlin Berufenen zu Besuchen in das Geodätische Institut nach Potsdam einlud und ihm auf diese Weise erste persönliche Treffen mit Fachkollegen in der DDR ermöglichte. Die guten Beziehungen brachen nicht ab, als Helmut Moritz 1971 an seine Heimathochschule nach Graz als ordentlicher Professor für Physikalische Geodäsie zurückkehrte. Was zum Verhältnis von Horst Peschel zu seinen Fachkollegen in der BRD gesagt wurde, gilt gleichermaßen auch für seine Beziehungen mit den Kollegen in Österreich; genannt seien von den älteren insbesondere Karl Ledersteger in Wien und Karl Rinner in Graz.

Zu den Anforderungen, denen sich Horst Peschel Anfang der 1960er Jahre als Geodät stellte, gehört, dass er 1963 dem Ruf der Leitung der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (DAW) folgte und nebenamtlich auch noch kommissarisch das Direktorat des Geodätischen Institutes Potsdam übernahm. Die TU Dresden wollte er dafür aber nicht aufgeben. Die DAW erwartete von ihm, dass er das altehrwürdige Institut, das der DAW 1946 zugeordnet worden war, auf den Weg zu einer modernen Forschungsstätte der wissenschaftlichen Geodäsie und der damit verknüpften interdisziplinären geowissenschaftlichen Arbeit führt, wobei auch deutliche Fortschritte beim Wiederaufbau der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit erzielt werden. Horst Peschel hat in den fünf Jahren, in denen er in Potsdam amtierte, viel geleistet; leider hat er dabei seine Gesundheit überbeansprucht. Weitere Fortschritte wurden erst dadurch möglich, dass das Geodätische Institut 1969 als Hauptrichtung in das neue Zentralinstitut für Physik der Erde der DAW eingegliedert wurde.

Bereits oben wurde erwähnt, dass Horst Peschel 1963 zum Präsidenten des Nationalkomitees für Geodäsie und Geophysik der DDR gewählt wurde. Das NKGG stand damals vor der doppelten Aufgabe, die Geodäsie und Geophysik der DDR wissenschaftsorganisatorisch in die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) einzugliedern und zum andern die inter-

nationale geophysikalische Kooperation, die sich für die relevanten Institutionen der DDR im IGJ eröffnet hatte, stabil weiterzuführen.

Die selbständige Mitgliedschaft in der IUGG wurde von deren Generalversammlung in Zürich 1967 bestätigt. Das NKGG wurde zur nationalen Vertretung der DDR in der IUGG. Horst Peschel war seitdem bis zu seinem Ausscheiden als NKGG-Präsident nationaler Delegierter der DDR in der IUGG wie auch in der IAG. Er nahm an allen Generalversammlungen der IUG von 1954 in Rom bis 1983 in Hamburg teil. Man kann sagen, dass ihm als über die Grenzen der DDR hinaus bekannter Persönlichkeit jederzeit hoher Respekt entgegen gebracht wurde. Vielfach gelang es ihm, den jüngeren Kollegen aus der DDR den Weg in die internationale wissenschaftliche Gemeinschaft zu erleichtern. Nach der Aufnahme in die IUGG musste das NKGG dafür sorgen, dass die damit verbundenen Verpflichtungen korrekt erfüllt wurden, was angesichts der spätestens in den 1980er Jahren nicht mehr zu übersehenden wirtschaftlichen Schwierigkeiten der DDR immer schwerer wurde.

Für die Weiterführung der im IGJ entstandenen internationalen Forschungskooperation erwies es sich unter den seinerzeit gegebenen politischen und finanziellen Bedingungen nur als möglich, sie auf die regionale Zusammenarbeit im Rahmen der Gemeinschaft der sozialistischen Staaten zu konzentrieren mit einigen wenigen weltweiten Ergänzungen. Diese Entwicklung führte zur Gründung der schon genannten KAPG im Jahre 1966 in Leipzig. Dem NKGG mit seinem Präsidenten Peschel oblag dabei die Aufgabe, als nationale Vertretung der DDR in der KAPG zu wirken. Alle damals Beteiligten erinnern sich mit Hochachtung daran, mit welchem Engagement und welchen fruchtbaren Ergebnissen Präsident Peschel seine Arbeit geleistet hat.

Nach seiner Emeritierung an der TU Dresden im Alter von 65 Jahren wurde für Horst Peschel die Tätigkeit als Präsident des NKGG noch für ein ganzes Jahrzehnt zum Hauptbetätigungsfeld. Sie bedeutete für ihn ein enges Zusammenwirken mit der Akademie der Wissenschaften der DDR, insbesondere mit ihrem Forschungsbereich Geo- und Kosmoswissenschaften, zu dem auch das Zentralinstitut für Physik der Erde gehörte. Sein Rückzug aus der Hochschultätigkeit war bereits im Jahre 1968 in der sog. Hochschulreform eingeleitet worden, in deren Verlauf seine bis dato Professur an der TU Dresden in eine Professur für Sphäroidische und Physikalische Geodäsie umgewandelt wurde, er alle darüber hinausgehenden Leitungsaufgaben an der Hochschule abgab und sich auf die Wahrnehmung von Ehrenämtern beschränkte. Die junge Generation, die an der Akademie der Wissenschaften

beim Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren die wissenschaftliche Verantwortung übernommen hatte, wusste sehr genau, was Horst Peschel für die Entwicklung von Geodäsie und Geophysik geleistet hatte und nahm bis an sein Lebensende mit Dankbarkeit und Hochachtung seine Unterstützung entgegen.

Das Ende der DDR und den Beitritt der ostdeutschen Länder zur Bundesrepublik Deutschland hat Horst Peschel nicht mehr erlebt.

PS: Günter Leonhardt gehört zu den ersten Schülern und Assistenten von Horst Peschel an der TH Dresden; er nahm als dritter Geodät aus der DDR an einer SAE teil, erstmals ab 1962. Heinz Kautzleben folgte Horst Peschel als Direktor des Geodätischen Institutes Potsdam.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 115–130*

Helmut Moritz
Institut für Navigation und Satellitengeodäsie
Technische Universität Graz

Große Mathematiker und die Geowissenschaften: Von Leibniz und Newton bis Einstein und Hilbert

Zusammenfassung

Die Arbeit besteht aus drei zusammenhängenden Teilen.

Teil A. Klassische Physik.
Seit Newton sind die Physik und die Mathematik untrennbar verbunden und miteinander gewachsen. Die Mathematik ist grundlegend für die Erklärung und Beschreibung der Erde und ihres Schwerefeldes. Große Mathematiker wie Laplace, Legendre und Gauß haben aber auch aus der Geodäsie rein mathematische Anregungen bekommen.

Teil B. Komplexität.
Die Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme in der Himmelsmechanik wurde von Henri Poincaré um 1890 begründet. Heute ist sie als Chaostheorie bekannt und ist seit E. Lorenz (1963) grundlegend für die meteorologische Wettervorhersage. Verallgemeinernd spricht man von *Komplexitätstheorie.*

Teil C. Inverse Probleme.
Der dritte Teil des Vortrags ist einer kurzen Besprechung der inversen Probleme gewidmet, deren Schwierigkeit und Wichtigkeit für die Praxis (von Massenbestimmung aus Gravitation bis zur seismischen und Magnetic Resonance Tomography (MRT)) viele zeitgenössischen Mathematiker für Geodäsie, Geophysik und Medizin interessiert.

Abstract

The paper consists of three interrelated parts.

Part A. Classical Physics.
Beginning with Newton, physics and mathematics are inseparably connected and have grown together. For eminent mathematicians such as Laplace, Lagrange and Gauss, the natural sciences have not only been basic for explaining and describing the gravitational field of the Earth, but they also have received purely mathematical inspirations from the geosciences.

Part B. Complexity.
A standard recent example is chaos theory, or the theory of nonlinear dynamic systems founded by Henri Poincaré around 1890 in his research on celestial mechanics and made popular, among others, by the fundamental treatment of weather forecasting by E. Lorenz (1963). Generally one speaks of Complexity Theory with possible applications to geodynamics, biology, and medicine.

Part C. Inverse problems.
A first important example is Gauss' least-squares adjustment of overdetermined systems. Nowadays, there are methods which are of increasing importance for geodesy, geophysics, medicine, etc. Some examples are the determination of masses from gravimetry, and seismic tomography, which has a similar structure as Magnetic Resonance Tomography (MRT) in medicine.

A. Klassische Physik

1. Einleitung

Seit Leibniz und Newton sind die Physik und die Mathematik untrennbar verbunden und miteinander gewachsen. (Das gilt nicht für alle Naturwissenschaften, z.B. nicht für die Biologie.) Dass nach Newton der Fall des Apfels vom Baum und die Bahn des Mondes um die Erde den gleichen Naturgesetzen unterliegen, erscheint auch heute noch beachtlich. Dass die Astronomie als *erklärende* Wissenschaft ebenso den Newtonschen Gesetzen unterworfen ist wie die Geodäsie, welche die Erde beschreibt, wäre den tausende Jahre zurückliegenden praktischen Astronomen und Feldmessern des vorderen Orients unverständlich gewesen.

Für die großen Mathematiker seit Newton sind die Naturwissenschaften nicht nur grundlegend für die Erklärung und Beschreibung der Erde und ihres Schwerefeldes gewesen, sondern die Mathematiker haben dadurch auch rein mathematische Anregungen bekommen. Dies soll im Folgenden skizziert werden.

Ich weiß, dass die Mathematik bei anderen Wissenschaften nicht immer beliebt ist. Ich werde also versuchen, meine Liebe zu ihr möglichst in Schranken zu halten, so dass die Kollegen aus anderen Disziplinen einen allgemein verständlichen Überblick erhalten. Über nicht erklärte Fachausdrücke möge man hinweg lesen, ebenso wie über Fußnoten. (Eine ausführlichere Darstellung vieler einschlägiger Probleme findet sich in „Science, Mind and the Universe“ (im Text abgekürzt mit „SMU“), das sich auf des Verfassers Internetseite http://www.helmut-moritz.at findet und in PDF gelesen oder zur Gänze heruntergeladen werden kann.)

Wir verstehen hier unter klassischer Physik alles, was in einem Standardlehrbuch über theoretische Physik (wie z.B. Landau-Lifschitz oder Feynman Lectures on Physics) behandelt wird, also neben der klassischen Mechanik auch die Relativitätstheorie und die Quantentheorie. Nun skizzieren wir einige geodätische Anwendungen.

2. Physik und Geodäsie

Im 18. Jahrhundert war die Geodäsie ein Haupt-Arbeitsgebiet der großen französischen Mathematiker. Die Französische Akademie der Wissenschaften sandte um 1740 zwei Expeditionen zur „Gradmessung“ nach Peru und Lappland, um die Größe des Erdellipsoides zu bestimmen. Die Ergebnisse dienten zur Definition des Meters und des darauf beruhenden metrischen Systems. Die Geodäsie war also damals wirklich eine wichtige Grundlagenwissenschaft.

Gleichzeitig arbeiteten daher Mathematiker wie Lagrange, Laplace, Clairaut und Maupertuis (der auch die Lappland-Expedition leitete) die entsprechenden Theorien der Erdgestalt und des Erdschwerefeldes aus. Wir erwähnen hier nur die fundamentalen Arbeiten von Laplace und Lagrange über *Kugelfunktionen*, die eine grundlegend wichtige praktische Bedeutung gerade heute erlangen, seitdem man sie mit Hilfe der künstlichen Erdsatelliten mit hoher Präzision bestimmen kann. (Für diese hohen Genauigkeiten brauchen wir heute natürlich entsprechend genaue Theorien, Beobachtungs- und Rechenmethoden.)

Ein Hinweis auf die Bedeutung der Geodäsie im damaligen einschlägigen Denken in Frankreich ist der Umstand, dass Jules Verne in seinen populärwissenschaftlichen Romanen nicht nur von der Erde zum Mond und bis zum Erdmittelpunkt reiste, sondern auch einen geodätischen Roman schrieb: „Trois Russes and trois Anglais“. Dieser Roman behandelt eine Gradmessung vom Norden bis zum Süden durch den ganzen afrikanischen Kontinent. Die

Zusammensetzung der Messtruppe nimmt die internationale geodätische Zusammenarbeit vorweg, mit ihren Erfolgen und auch ihren Spannungen. (Im Übrigen wurde von den Amerikanern eine solche Gradmessung in Afrika um 1956 tatsächlich durchgeführt.)

In Deutschland entwickelte Carl Friedrich Gauss die Methode der kleinsten Quadrate, sowie die Differentialgeometrie der krummen Flächen, beides angeregt durch geodätische Probleme. Dies führte Riemann zur Differentialgeometrie der mehrdimensionalen Räume und weiters Einstein und Hilbert zur allgemeinen Theorie von Raum, Zeit und Gravitation (um 1915). Diese „Allgemeine Relativitätstheorie" wird für präzise Berechnung von Satellitenbahnen (z.B. beim Globalen Positionierungs-System, GPS) benötigt. (Scherzhaft kann man sagen, dass bei jedem mit GPS ausgestatteten Auto Albert Einstein auf dem Rücksitz als blinder Passagier mitfahre…)

Hilberts Name ist noch mit der zweiten großen physikalischen Theorie des 20. Jahrhunderts verbunden: Die Quantentheorie wurde in ihrer vollkommen Form von Heisenberg und Schrödinger um 1925 entwickelt. Ihre mathematische Grundlage bildet der unendlich-dimensionale Hilbertraum. (Wenn man über den unendlich-dimensionalen Raum stöhnt, dann denke man daran, dass heutige Computer, die ein lineares Gleichungssystem mit 100000 Unbekannten auflösen, mathematisch in einem 100000-dimensionalen Raum arbeiten, den man sich geometrisch auch nicht vorstellen kann.)

Heute hat Gauß' Methode der kleinsten Quadrate im Hilbertraum eine wichtige geodätische Anwendung gefunden, die *Kollokation*, die man z.B. zur Berechnung der oben erwähnten Kugelfunktionen des Erdschwerefeldes verwendet. Auf Gauß werden wir auch in Abschnitt 9 zurückkommen.

Zum Schluss ist zu sagen, dass der wichtigste und einflussreichste Denker in der physikalischen Geodäsie nach 1945 der russische Geodät M. S. Molodensky war. Wir werden in Abschnitt 9 darauf zurückkommen.

B. Komplexität

3. Von der klassischen Mechanik zu Chaostheorie

Auf einem ganz anderen mathematischen Gebiet liegt die heute sehr populäre Chaostheorie (SMU), oder abstrakter, Theorie der nichtlinearen dynamischen Systeme. Synonyme sind Fraktale oder Deterministisches Chaos. Es handelt sich nicht so sehr um eine einheitliche Theorie als um ein Bündel zusammenhängender mathematischer Theorien. Wir werden das später besser verstehen.

In Newtons Himmelsmechanik herrscht, wie man glaubte, strenger Determinismus (SMU, S. 73 ff.). Poincaré zeigte um 1890, dass die Bahnen der Himmelskörper „chaotisch“ werden können. Ein Standardbild (Fig.1) zeigt wahrlich ungewöhnliche dreidimensionale Bahnen (3D-Kurven im Schnitt mit der Bildebene).

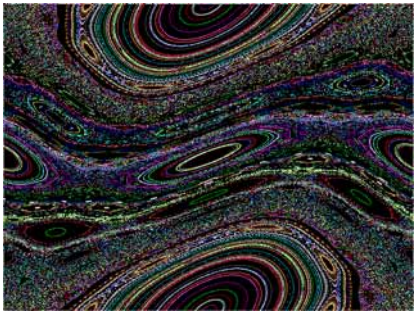


Figure 1: Poincaré

Ich zögere nicht, den großen Mathematiker Henri Poincaré als den Begründer der Chaostheorie anzusehen. Sein Buch „Nouvelles méthodes de la mécanique céleste“ behandelt zum ersten Mal die mathematische Betrachtung nichtlinearer dynamischer Systeme, was als größter Fortschritt in der Himmelsmechanik seit Newton angesehen werden kann[1]. Er verstand vollkommen das meteorologische Problem der Wettervorhersage (SMU, S. 80-82; ein schönes Zitat findet man auf Seite 243), sowie auch die Mechanik des Wurfs eines symmetrischen Würfels, die zur gleichen Wahrscheinlichkeit aller 6 Seitenflächen führt (SMU, S.83-84). Er verstand völlig die nicht-triviale Synthese der klassischen Mechanik, des Laplaceschen Determinismus, der Instabilität, des Chaos und der Wahrscheinlichkeitstheorie, wie seine großartigen populären Darstellungen zeigen.[2]

4. Chaos in den Geowissenschaften

Ich will hier nur einige Gebiete nennen.

1. *Meteorologie.* Bekannt ist Lorenz’ Schmetterling, der auf E. Lorenz (1963) zurückgeht und der die Instabilität des Wetters und die grundsätz-

1 S. Fröba und A Wassermann, *Die bedeutendsten Mathematiker*, Matrix Verlag, Wiesbaden, 2007, S.192.

liche Unsicherheit der Wettervorhersage veranschaulicht (Fig. 2). Die benachbarten Trajektorien veranschaulichen zwei mögliche Wettervorhersagen für den gleichen Tag, z.B. im Tagesspiegel und in der Berliner Morgenpost. Lorenz hat auch ein schönes allgemeines Buch geschrieben[3].

2. *Geomagnetismus*. Die schwierige Theorie des Geodynamos ist ohne Chaostheorie undenkbar.
3. Vorhersagen von Erdbeben oder von Lawinenabgängen. Die Problematik ist im Wesentlichen nicht unähnlich der Prädiktion in der Meteorologie, aber die mathematische Behandlung und die Unsicherheit sind natürlich viel größer.[4]

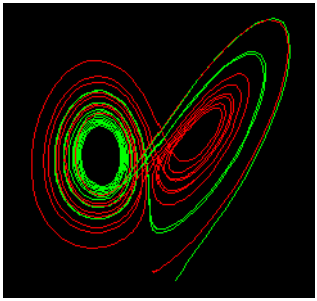


Figure 2: Lorenz

4. Fraktale Flächen sind ein Mittel zur Darstellung und Interpolation im Hochgebirge, als Anwendung in der Geodäsie. Zunächst ein anschauliches von mir berechnetes Modell (www.helmut-moritz.at , Arbeit über Doppelsummation, letzte Figur 7).

---

2 Als ich Professor an der Technischen Universität Berlin war, studierte ich Poincaré um 1970 und entdeckte etwas, was mir ein wunderbares und geheimnisvolles geodätisches Band zwischen Berlin und Paris erschien. Die bekannte Definition der Geodäsie, als Wissenschaft von der Figur und dem Gravitationsfeld der Erde, kristallisierte sich aus dem Denken zweier Wissenschaftler aus dem Geodätischen Institut Potsdam, Friedrich Robert Helmert und Heinrich Bruns. um 1870. Ziemlich gleichzeitig publizierte Heinrich Bruns einen kleinen aber profunden und folgenreichen Artikel über das Konvergenzproblem von Reihen der Himmelsmechanik („Bemerkungen zur Theorie der allgemeinen Störungen“, *Astronom. Nachrichten, 109,* 216-222, 1884). Das ist nur eine zufällige Koinzidenz, für mich aber war es eine Bestätigung der mir sehr am Herzen liegenden Tatsache, dass die Wissenschaft keine nationale Grenzen kennt. (Helmert und Poincaré waren übrigens beide aktiv in der Internationalen Geodätischen Assoziation tätig!)

3 E. Lorenz, *The Essence of Chaos*, Univ. of Washington Press, 1993.

4 D. L. Turcotte, *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*, 2nd ed., Cambridge Univ. Press, 1997.

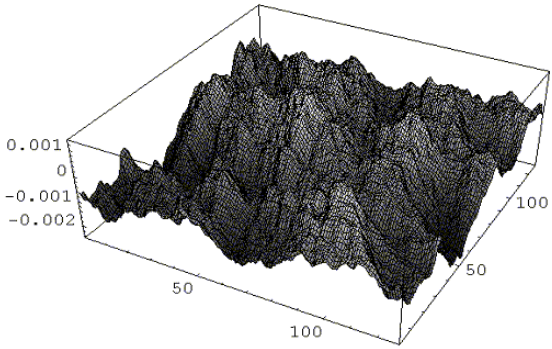


Figure 3: Fraktales Hochgebirge

Man kann sich vorstellen, dass solche gespenstige Bilder in der Filmindustrie öfter vorkommen als in der Natur[5].

5. Leibniz, Mandelbrot und Fraktale

In dem großartigen Buch von Benoit Mandelbrot, *Die fraktale Geometrie der Natur,* Birkhäuser wird eine umfassende Darstellung der Fraktale gegeben, die eine Generation von Mathematikern und angewandten Wissenschaftlern, aber auch jungen Computerfans fasziniert hat.

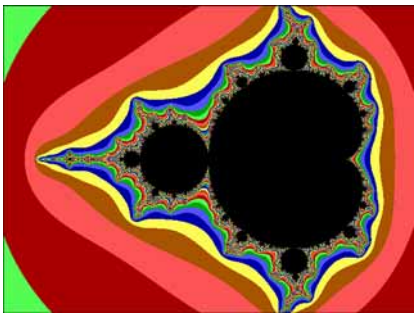


Figure 4: Das Mandelbrot-Fraktal

Das Mandelbrot-Fraktal ist mit dem Lorenz-Schmetterling (Fig. 3) zu einem Logo der neuen Chaostheorie geworden (Fig.. 4).

5 H.O. Peitgen und D. Saupe (Hrsg.), *The Science of Fractal Images*, Springer, 1988.

Das Mandelbrot-Fraktal (Fig.4) besteht aus einem Haupt-Mandelbrot, umgeben von „selbstähnlichen“, immer kleiner werdenden „Mandelbrötchen“ (schwarz). Es heißt auch „Apfelmännchen“. Solche Figuren gestatten einen intuitiven Zugang zur Chaostheorie. Für den gemäßigten Mathematiker sind es nicht-differenzierbare, aber doch gesetzmäßige Kurven oder Strukturen, die vielfach „gebrochen (latein. *fractus*) sind. Mit dieser groben und unscharfen, intuitiven Definition will ich mich hier aus der Affäre ziehen. Für die strengen Mathematiker gibt es exakte Definitionen jedes Schwierigkeitsgrades.

Interessanter Weise ist die Entwicklung zum Fraktal irgendwie ähnlich zu einer logischen Verschärfung des Leibnizschen Begriff des Differentials in den letzten Jahrzehnten durch Robinson, Laugwitz[6] und andere. Nach Leibniz ist die Ableitung einer Funktion $y = f(x)$ ein echter Quotient dy/dx zweier Differentiale dx und dy, die unendlich klein („infinitesimal“), aber nicht Null sind. Man kann wunderbar damit rechnen und tat es auch immer, wenn auch oft mit schlechtem Gewissen, von den strengeren Kollegen verachtet. Durch die moderne Logik sind die infinitesimalen Differentiale voll rehabilitiert; Leibniz’ geniale Intuition hat den Sieg davongetragen.

Mandelbrot, ein großer Bewunderer von Leibniz, hat den Zusammenhang mit der Fraktaltheorie an mehreren Stellen seines Buches angesprochen und ansatzweise versucht, die Antithese zwischen Differential (glatte Kurven) und Fraktal („gebrochene“ Kurven) zu einer Synthese zu vereinen. Hier müssen wir auf Mandelbrots Buch verweisen (§41). Da wir schon bei Leibniz sind, wollen wir erwähnen, dass das Universalgenie Leibniz sich auch der Entstehung der Struktur des Erdinneren beschäftigt hat[7].

6. In der Natur gibt es keine Geraden: Fraktale in Biologie und Medizin

Schon zu Anbeginn der modernen Fraktaltheorie um 1960 entdeckte man, dass die Euklidisch-Kartesische Geometrie eigentlich nicht ganz zu einer vom Menschen unberührten Natur passt. Es gibt in der Natur kaum vollkommen gerade Linien, zumindest nicht in der Biologie. Kaum ein Baum ist so vollkommen gerade wie eine Hauskante. In der Mineralogie könnte man die Kristallkanten als Gerade betrachten, aber das fällt wohl nur dem Mineralogen auf. Wenn der Gehirnchirurg in das menschliche Gehirn eindringt, so kann die Schneide seines Messers sehr gerade sein, nicht aber die Gehirnwindungen, in die er eindringt.

6 D. Laugwitz, Infinitesimalkalkül, B.I. Verlag, 1978.

7 W. Kertz, *Geschichte der Geophysik,* Georg Olms Verlag, 1999 (Kap.1, Abschn.3) (freundlicher Hinweis von Herrn Heinz Kautzleben).

Natürlich kann man das Gehirn in ein kartesisches Netz einbetten, aber das macht der Mensch und nicht die Natur. Direkt naturgegeben ist unsere menschliche Geometrie nicht.

Ein schönes Modell für Lungengewebe ist das Fraktal von Sierpinski 3D oder Menger (Fig. 5), nicht unähnlich einem Schwamm. (Die Geradenstücke in diesem Bild werden durch die unvollständige Approximation hervorgerufen; in Wirklichkeit gibt es nur Punkte.)

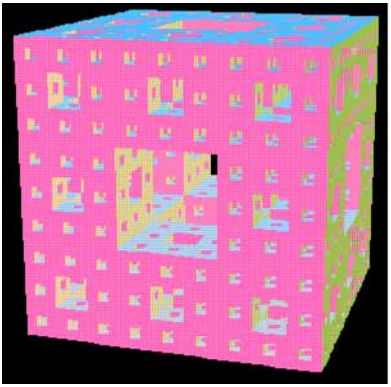


Figure 5: Menger

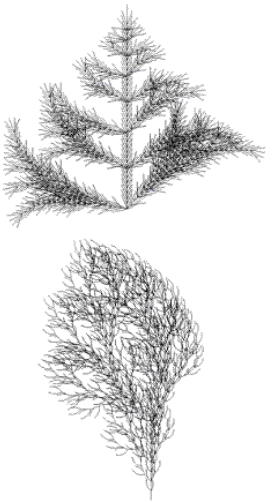


Figure 6: Fraktale Bäume (nach P. Bourke)

Es gibt auch wunderbare fraktale Bäume (Fig. 6).

Kein Wunder, dass Biologen und Mediziner sofort versucht haben, die Chaostheorie zu verwenden.[8] *Es gibt einfach keine geraden Linien in einer vom Menschen unberührten Natur.*

7. Zwischenbemerkungen

In der Chaostheorie gibt es bedeutende Entdecker. Poincaré war ein analytisches Genie in der präzisen Himmelsmechanik, das zeigte, dass auch die klassische Himmelsmechanik nicht so einfach und stabil ist wie Laplace glaubte. Poincaré entdeckte so die nichtlineare Dynamik. Poincaré untersuchte auch den Zusammenhang zwischen Instabilität and Wahrscheinlichkeit.

E. Lorenz revolutionierte die Meteorologie. Mandelbrot ist ein umfassendes Genie, das in der Natur überall fraktale Strukturen entdeckte.

Wir können in diesem Aufsatz keine weiteren Fraktalbilder zeigen, Viele wunderbare Bilder finden sich im Internet in verschiedenen „fractal galleries".

Für Bücher siehe Fußnote[9].

Zur Terminologie: Man spricht hier von

- nicht-linearen dynamischen Systemen (Mathematik von hohem Niveau)
- Chaostheorie (Instabilität, Meteorologie)
- Fraktaler Geometrie (Mandelbrot)

Alle diese Begriffe sind im Allgemeinen ziemlich verwandt und synonym, aber der Zusammenhang ist nach Meinung des Vortragenden doch noch nicht ganz vollständig und nahtlos. Die Blütezeit der Chaostheorie war vielleicht die Zeit 1980-2000.

Intuitiv spricht man von *Komplexität*, wenn das System eine große Anzahl von Elementen besitzt, die mit einer reichen Struktur ausgestattet sind. Ein Sandhaufen wird kaum als ein komplexes System bezeichnet werden, ein Ameisenhaufen schon eher, und ein lebender Organismus bestimmt, Kurz kann man sagen, das Komplexität eine Synthese von Ordnung und Chaos ist, oder anschaulicher: *Komplexität liegt auf der Kante zwischen Ordnung und*

8 Ein Klassiker ist L. Glass und M. C. Mackey, *From Clocks to Chaos: the Rhythms of Life*, Princeton Univ. Press, 1988.

9 Lesbar und interessant sind die Bücher: J. Gleick, *Chaos: Making a New Science*, Cardinal-Penguin, London, 1988, und auf einem besonders hohen Niveau: I. Stewart , *Spielt Gott Roulette?: Chaos in der Mathematik*, Birkhäuser, Basel, 1990.

Chaos (M. M. Waldrop). Weltbekannt ist das *Santa Fe-Institut für Komplexität.*

Gerade die Geo- und Biowissenschaften brauchten eine einheitliche Theorie der Komplexität, die auch die *algorithmische Komplexität* (W. I. Kolmogorov, G. Chaitin) umfassen sollte. Für mehr Details siehe SMU, S. 170-172. Sehr interessant ist auch das Buch eines Nobelpreisträgers, des Physikers Gell-Mann[10]

Die Frage ist, ob eine solche *einheitliche* Komplexitätstheorie überhaupt möglich ist, oder ist sie nur ein Bündel von mehr oder weniger zusammenhängender Theorien? Aber ist denn die Mathematik ein einheitliches deduktives System, oder nur eine Sammlung von so verschiedenen Theorien wie Zahlentheorie und Differentialgeometrie?

Vielleicht kommt ein neuer Einstein, der in einem Paradigmenwechsel im Sinne von Kuhn (SMU, S. 155) eine neuartige Theorie schafft.

C. Inverse Probleme

8. Potentialtheorie

Am Anfang eines jeden Lehrbuchs über physikalische Geodäsie[11] findet sich eine einfache Formel für das Gravitationspotential V eines Körpers, insbesondere der Erde

$$V = \iiint \frac{1}{l} \rho \, dv$$

Hier bezeichnet ρ die Dichte der Massen innerhalb der Erde, dv ist das Volumenelement, und das dreifache Integral erstreckt sich über das gesamte Volumen der Erde (Fig. 7).

---

10 M. Gell-Mann, *The Quark and the Jaguar*, Freeman, New York, 1994; deutsch: *Das Quark und der Jaguar*, Piper, München, 1994. (Dieses Buch schließt auch die Quantentheorie ein, die wir hier nicht betrachten können.)

11 Zum Beispiel: B. Hofmann-Wellenhof und H. Moritz, *Physical Geodesy*, Springer, Wien, 2005.

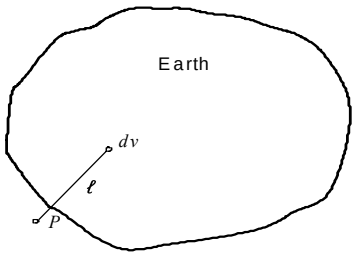


Figure 7

Für den Nichtmathematiker schaut die Formel gefährlich aus, sie ist aber begrifflich einfach. Man kann sie noch vereinfachen, indem man symbolisch schreibt:

$$V = L\,\rho.$$

Dies bedeutet, dass man das Potential V erhält, indem man den „linearen Operator“ L auf die Dichte ρ anwendet. In meiner Studentenzeit hatte das Wort „Operator“ einen etwas gefährlichen medizinischen Klang. In unserem heutigen Computer-Zeitalter wird dieses Wort für fast Alles benützt, was man mit einem Computer machen kann, nicht nur Addition und Subtraktion, sondern auch numerische Integration für die Berechnung des obigen Integrals.

Soweit ist alles einfach: keine Relativitätstheorie (sonst würden uns die Studenten davonlaufen), keine Komplexität, kein Chaos usw. Das Integral kann mittels Standardmethoden für die numerische Integration sehr leicht ausgewertet werden, wenn ρ gegeben und V gesucht ist.

Das *inverse Problem*, die Berechnung der Massen im Erdinneren aus dem Potential im Außenraum, ist hingegen außerordentlich schwierig, denn es gibt unendlich viele Massenverteilungen, die das gleiche Potential im Außenraum erzeugen. Dieses inverse Problem ist jedoch wichtig für die Erforschung von Lagerstätten von Erdöl, Kohle oder Erzen. Es ist leicht, die Lösung in der einfachen Form

$$\rho = L^{-1}\,V$$

zu schreiben, aber die tatsächliche Berechnung führt auf viele bedeutende Schwierigkeiten.

Ein „*korrekt gestelltes*“ oder einfach „*korrektes*“ Problem im Sinne von Hadamard hat eine und nur eine Lösung, und diese Lösung ist stabil. Früher dachte man, dass alle physikalisch sinnvollen Probleme korrekt gestellt seien.

Das „inverse“ Problem $\rho = L^{-1} V$ ist tatsächlich „inkorrekt“ in diesem Sinne. Es handelt sich um eine sehr allgemeine Situation: das direkte Problem ist eindeutig und stabil, also „korrekt im Sinne von Hadamard“; das entsprechende inverse Problem ist „inkorrekt“, aber praktisch durchaus sinnvoll und mathematisch oft hochinteressant.

Ohne ins Detail zu gehen, sei nur gesagt, das solche inversen Probleme *falsch gestellte* oder gar *inkorrekte Probleme* heißen, ohne jeden negativen Beigeschmack. Oft verwendet man „inkorrekt“ synonym mit „invers“.

Für den Mathematiker: In der Matrizenrechnung haben quadratische Matrizen mit nicht verschwindender Determinante eine Inverse. Aber es hat sich als sehr sinnvoll herausgestellt, auch für rechteckige Matrizen eine „verallgemeinerte Inverse“ zu definieren, die inkorrekt im Sinne von Hadamard ist.

Inverse Probleme können äußerst schwierig sein, sind aber gerade deshalb sehr attraktiv für Mathematiker, zumal sie große praktische Bedeutung haben. Heute sind die inversen Probleme ein wichtiges und aktives Gebiet für die mathematische Forschung[12].

9. Andere inverse Probleme

Sogar Schüler der Oberstufe eines Gymnasiums müssen heute etwas Differenzieren und Integrieren lernen. Sie wissen, dass jede analytische Funktion differenziert werden kann, aber die inverse Operation, das Integrieren, ist schon schwieriger. Man muss zu Integraltafeln oder mathematischen Programmpaketen wie Mathematica® greifen.

Ein sehr allgemeines Problem, die Bestimmung eines physikalischen funktionalen Objekts durch indirekte Messungen, ist gewöhnlich „inkorrekt“, weil das funktionale Objekt meistens eine unendliche Zahl von Parametern hat, während die Zahl der Messungen nur endlich ist, vom Einfluss der Messfehler ganz zu schweigen. Das sind das klassische Problem der *Wettervorhersage*, das überdies komplex ist (siehe oben, Abschnitt 4, Fall (1)), und auch die Schätzung des Erdschwerefeldes aus Satellitendaten.

In der Geodäsie haben wir das *geodätischen Randwertproblem*, formuliert von M. S. Molodensky (Abschnitt 2). Das Problem von Molodensky wurde 1945 entdeckt, und es hat das Denken der theoretischen Geodäsie revolutio-

12 Als allgemeine Literatur nennen wir: G.Anger, *Inverse Problems in Differential Equations,* Akademie Verlag , Berlin, and Plenum Press, London, 1990; G.Anger et al., *Inverse Problems: Principles and Applications in Geophysics, Technology and Medicine,* Akademie Verlag, Berlin, 1993 (Nachdruck bei Wiley, New York); G. Anger and H. Moritz, *Inverse Problems and Stability: Basic Ideas and Applications* , in: www.helmut-moritz.at.

niert. Er fand auch mehrere praktisch anwendbare Lösungen. Einen strenger Beweis der eindeutigen Lösbarkeit des nichtlinearen Molodensky-Problems unter mathematisch genau definierten Bedingungen als „hartes“ nichtlineares inverses Problem (und es ist wirklich „hart“!) erbrachte der bekannte schwedische Mathematiker Lars Hörmander (1976), aufbauend auf Vorarbeiten von Torben Krarup aus Kopenhagen. Krarup entdeckte auch die Kollokation nach kleinsten Quadraten (1968), die wir schon in Abschnitt 2 erwähnten.

Schließlich führen wir noch die *seismische Tomographie* in der Geophysik an, und das strukturell sehr ähnliche Problem der *magnetischen Resonanztomographie* (MRT), das in der Medizin eine große Rolle spielt.

Wenn wir den Namen eines großen Mathematikers der Vergangenheit mit inkorrekten Problemen in Verbindung bringen wollen, so kommen wir wieder zum „princeps mathematicorum“, Carl Friedrich Gauß. Seine *Ausgleichung nach kleinsten Quadraten für überbestimmte Systeme* passt sehr gut hierher. Dieses mathematische Modell, das in der Geodäsie klassisch ist, wird durch p Parameter definiert, die durch $n > p$ Beobachtungen bestimmt werden. Ein einfaches Standardbeispiel, dem Gauß oft in seinen geodätischen Triangulationsarbeiten begegnete, ist die Messung aller drei Winkel in einem Dreieck. Deren Summe sollte genau 180 Grad sein, aber das trifft in der Praxis nie zu. Die „Lösung“ des Problems durch Messung von nur zwei Winkeln ist unzulässig vereinfacht, unsymmetrisch und gewissermaßen unfair gegenüber dem vernachlässigten Winkel. Allgemein ergibt die Verwendung *aller* Daten eine optimale und symmetrische Lösung, und zusätzlich eine statistische Schätzung für die Fehler der verwendeten Messungen.

Die Kollokation nach Krarup kann auch als Ausgleichung im Hilbertraum aufgefasst werden.

Im Übrigen kann die Lösung einer linearen Gaußschen Ausgleichungsaufgabe mathematisch als eine verallgemeinerte Matrizen-Inverse im Sinne von Abschnitt 8 dargestellt werden. Das ist sehr nützlich für das Verständnis; allerdings sind die meisten heute untersuchten inversen Probleme viel komplizierter.

10. Zum Abschluss

Beispiele von direkten und inversen Problemen	
Schwere aus Masse	Masse aus Schwere
Natur (Erde)	seismische Tomographie
Natur (menschl. Körper)	medizin.Tomographie (Röntgen, NMR usw.)
Natur	Naturwissenschaft
Verbrechen	Polizei
(logische) Deduktion	(wissenschaftl.) Induktion
Ursache $\longrightarrow$ Wirkung	Wirkung $\longrightarrow$ Ursache
Realität $\longrightarrow$ Daten	Daten $\longrightarrow$ Realität

Die Tabelle zeigt die Allgemeinheit inverser Probleme, nicht nur in der Mathematik.

Eine zweidimensionale Photographie ist eine Projektion eines dreidimensionalen Objekts auf eine Ebene. In einem abstrakten, aber anschaulichen, Sinn ist die Menge der einschlägigen Messungen eine Projektion der unendlichen „Realität“ auf den endlichen „Messraum“. *Jede Wissenschaft ist eine Projektion der Realität auf einen Unterraum, den Unterraum dieser Wissenschaft.* Wie die Tabelle zeigt, ist diese Projektion ein direktes Problem. Die Tätigkeit des Forschers ist das inverse Problem, aus den Messungen Rückschlüsse auf die Realität zu ziehen.

Das klingt auf den ersten Blick abstrakt und realitätsfern. Diese Terminologie ist aber geeignet, ähnliche logische (nicht nur mathematische) Strukturen hervorzuheben, wie unsere Tabelle zeigt. Der Verbrecher führt ein direktes Problem aus, der Detektiv hat ein inverses Problem, die Klärung des Verbrechens und die Auffindung des Täters. Das ist natürlich wesentlich schwieriger. Der Historiker sucht nach komplexen Gründen und nach Menschen, welche die gegenwärtige Situation erzeugt haben: auch ein inverses Problem. Die einfache abstrakte Formulierung, $V = L\,\rho$ und $\rho = L^{-1}\,V$, die wir in Abschnitt 8 verwendet haben, kann verstanden werden, ohne die Einzelheiten zu kennen, so wie wir Auto fahren können, ohne die detaillierte Funk-

tion von Motor, Getriebe und Bremsen zu kennen, die schon recht „komplex“ sein kann.

COMPLEXITÄT UND INVERSE PROBLEME wirken oft zusammen, besonders bei großen Datenmengen. Wir zeigen das am Beispiel unseres Standardproblems, der Wettervorhersage. Die wohlbekannte Unsicherheit dieses Problems kommt aus zwei Quellen:

- Die „chaotische“ Instabilität der entsprechenden Differentialgleichungen auch bei der Annahme vollständiger und fehlerloser Daten (das „Schmetterlingsproblem“, das wir in Teil B dieser Arbeit besprochen haben), und:
- Die kontinuierlich über die ganze Erde verteilt sein sollenden Beobachtungen sind auf ein diskretes Gitter beschränkt, das nicht einmal vollständig und regelmäßig ist. Außerdem gibt es Messfehler. Das ist also ein typisch „inkorrektes“ inverses Problem im Sinne von Teil C unserer Arbeit.

Dieses wichtige meteorologische Beispiel zeigt klar, wie die neuen „nichtklassischen“ Probleme und Methoden von Teil B und C eine zunehmend wichtige Rolle gegenüber den „klassischen“ Methoden von Teil A spielen. Im Zusammenhang damit benötigt man immer leistungsfähigere, größere und „komplexere“ Computer. Aber auch die intuitive und beweisende Kraft des menschlichen Geistes wird zunehmend gefordert.

Jedenfalls glaube ich, dass Komplexität und inverse Probleme in Zukunft eine wesentliche interdisziplinäre Rolle in vielen Wissenschaften: Physik, Technologie, Geowissenschaften, sogar Biologie und Gesellschaftswissenschaften, spielen werden.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 131–132*

Erik W. Grafarend[1]
Geodätisches Institut der Universität Stuttgart

Helmut Moritz, das Somigliana-Pizetti Referenz-Schwerefeld und „Mars“, die Referenz-Äquipotentialfläche

Zusammenfassung

In einem dokumentierten Brief an mich schreibt Helmut Moritz, dass einzig das Referenz-Schwerefeld vom Typ Somigliana-Pizetti auf dem Rotationsellipsoid das akzeptable Referenzfeld für die Geodäsie ist. Nachdem das „Mars Orbit Laser Altimeter“ (MOLA) und das Gravitationsfeld vom Mars in sphärischen Koordinaten vom Typ GMM2B (Kugelfunktionsreihe vom Grad/ Ordnung 80) messtechnisch vorliegt, wird im Vortrag die Referenz-Äquipotentialfläche vom Mars („Aeroid“) berechnet, welche die beste Approximation der Mars-Topographie im Sinne einer kleinsten Quadrate darstellt. In einem zweiten Schritt wird das Potential und die Geometrie des „Aeroids“ benutzt, um das Somigliana-Pizetti Referenz-Schwerefeld in Jacobi ellipsoidischen Koordinaten darzustellen, insbesondere die fundamentalen Parameter des Mars (W(0), J(2), GM, Omega) nämlich (das Areoid-Referenz-Potential, der zonale Koeffizient zweiter Ordnung einer harmonischen Potentialentwicklung, die Gravitationskonstante, die Referenz-Rotationsgeschwindigkeit vom Mars). Höhepunkt bildet die zahlenmäßige Berechnung der Referenz-Ellipsoid-Parameter (a,b) oder (a,e) – große Halbachse, kleine Halbachse, Exzentrizität – aus den Daten (W(0),J(2),GM,Omega).

Abstract

We quote from H.Moritz the following statement expressed in a letter from him to E. Grafarend dated 12 July 2005: „There is no doubt that the Somigliana-Pizzetti field of the rotational symmetric ellipsoid is the only correct reference surface for the general gravity field. This point of view is supported

1 Mitglied der Leibniz-Sozietät

by various resolutions of the International Association of Geodesy. Here we follow his advice. Based on „Mars Orbit Altimeter Data (MOLA)“ from the Mars Global Surveyor (MGS) and the gravitational field model of the planet Mars in terms of spherical harmonics (GMM2B) complete to degree/order 80/80, the Reference Equipotential Surface of Mars, namely the Areoid, has been computed as an equipotential surface which is a best fit to the Martian topography. Given the potential and geometry of the Areoid, the four fundamental parameters, namely {W(0),GM, Omega, J(2)}, called {Areoid potential, gravitational constant, angular velocity, second zonal coefficient of the spherical harmonic expansion}, respectively, are used to compute the Somigliana-Pizzetti reference ellipsoid of Mars. Finally the computed Areoid is presented in terms of ellipsoidal harmonics.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 133–134*

Petr Holota
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography
250 66 Zdiby 98, Praha-vychod, Czech Republic
Fax: +420 284890056

Problems of Potential Theory in Gravity Field Studies

Abstract

In geodesy applications of potential theory are of essential importance. The aim of the paper is to show typical problems that are associated with the solution of Poisson's and Laplace's equation in gravity field studies based on classical terrestrial as well as modern satellite gravity field data. The use of the method of integral equations and the Green's function method is approached first. Problems caused by the complicated topography of the Earth and an oblique derivative in the boundary condition are discussed in this connection. Some techniques, e.g. a transformation of the solution domain, successive approximations etc., that may solve these difficulties and enable the use of the methods, are shown. As an example also Green's function is constructed and its tie to Stokes' kernel is explained. Together with the classical concept of the solution the weak solution and variational methods are discussed in the paper too. The approach is more flexible in general and some of its fundamental properties are mentioned. In contrast to the classical concept the solution is represented by means of a suitable function basis. This leads to Galerkin's approximations and a solution of a rather large system of linear equations. Some examples illustrating the successful use of these methods are sown for basis functions generated by the reproducing kernel in the respective space of harmonic functions. The space is a part of Sobolev's space that in a natural way corresponds to variational methods. Also for the weak formulation steps are discussed that may yield solutions for settings that are very close to physical reality. In the paper possibilities of using the concept of boundary-value problems in the combination of the terrestrial and satellite gravity field data are discussed too. As a rule, however, the problems are

overdetermined by nature. Therefore, an optimization approach has to be applied together with the methods mentioned above. In addition the apparatus of spherical and ellipsoidal harmonics is used for the representation of the solution in this case. Summation techniques then yield the respective integral kernels. When convoluted with the data they show the influence of individual measurements, which in principle also illustrates the tie between the global and the local modeling of the gravity field.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 135*

Elena Mazurova
Moscow State University of Geodesy and Cartography

Corrections for Ellipsoidality

Abstract

Most of the formulae of physical geodesy are based on spherical approximation. Increasing accuracy requirements lead to the necessity to take into account the effects related to the ellipsoidality of the reference surface.

Now GNSS-technologies make it possible to reliably calculate the gravity disturbance δg which is the function of the geodetic coordinates B,L,H defined from satellite measurements.

The paper discusses the derivation of ellipsoidal corrections which are applied to the gravity disturbance. The use of these corrections allows the disturbing potential to be calculated to the accuracy of the order of the flattening, with spherical approximation being the main term.

Keywords: Corrections for Ellipsoidality, gravity disturbance, disturbing potential.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 137*

Markku Poutanen
Finnish Geodetic Institute

From Maupertuis to GRACE. Finnish contribution to the global geodesy

Abstract

Measurements of Pierre Louis de Maupertuis in the Valley of the Tornio River in Finnish Lapland solved the question on the shape of the Earth in 18th century. This was the first time Finland was recognized in the geodetic community. A century later, the great work of Friedrich Georg Wilhelm Struve, nowadays known as the Struve Geodetic Arc, meant a great impulse on the geodesy and surveying in Finland. In both expeditions also Finnish researchers were participated.

Establishment of the Finnish Geodetic Institute in 1918, exactly 90 years ago, and examples of previous centuries, led to a new generation of geodesists in the golden era of geodesy when new theories and techniques were developed to research the size, shape and gravity of the planet Earth. Among these geodesists were Ilmari Bonsdorff, Yrjö Väisälä, Weikko Heiskanen, Tauno Honkasalo, T.J. Kukkamäki and Juhani Kakkuri. Their great lucky was to collaborate with many world-class scientists in Europe and North-America, and this way give their contribution to the global geodetic community. In this presentation we will give a short overview on their work, from past to present. At the same time the 90-year Finnish Geodetic Institute congratulates Prof. Helmut Moritz on his 75-year anniversary. Prof. Moritz is one of the key persons in this golden era collaboration.

104(2009), 138 *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin*

Fernando Sansò und G.Venuti
Politecnico di Milano – Polo Rgionale di Como

The convergence problem for the collocation solution; a return

Abstract

Collocation theory is widely accepted and used in geodesy as a tool for the approximation of the gravity anomalous potential T(P) based on a finite set of observations.

As it is known, there are several interpretations leading to the same formulas, so that the same solutions can be looked upon from different view points.

Traditional is Kraup's interpretation as a stabilized solution in the sense of Tykonov and Moritz's interpretation as an optimal prediction in the framework of isotropic random fields theory.

Following his own interpretation Krarup has proved a convergence theorem which however requires that the smoothing parameter be suitably relaxed while the number of observations is tending to infinity. On the other hand Moritz has proved the point-wise convergence of the estimator to the true potential in mean quadratic sense. This however does not imply the convergence of the collocation estimator to the anomalous potential in a functional sense.

In this work the problem is faced and it is proved that if $\hat{T}_N$ is the collocation solution for N observations then there is a subsequence converging almost surely in L^2 sense to $T\ (P)$, under fairly general conditions on the observations.

The result can be refined depending on the properties of the covariance function of T.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 139*

Victor P. Savinykh
Moscow State University of Geodesy and Cartography

Space monitoring for nature and anthropogenic disasters

Abstract

By the present time a great experience has been accumulated to use space imaging of the Earth for monitoring various disasters as well as the changes related to such phenomena as the global warming of the climate caused by the growth of the concentration of hotbed gases in the atmosphere and the ozone layer depletion.

Wide scope of applications of space data of satellite remote sensing of the Earth, their high resolution, reliability and exclusive promptitude (actually onlineliness) enable the traditional problems of natural study to be solved in addition to fast-speed processes, including natural and technogenic catastrophes, being explored.

The paper deals with the peculiarities of application of long-term manned orbital stations for monitoring the Earth's surface. Space monitoring of tropical cyclones (KATRINA, PHILIPPE and RITA) as well as tsunamis and their consequences are discussed. The effects of the Kolka glacier collapse (the Karmadon gorge, Russia) are considered.

The monitoring results of the dynamics of the coastal line and landscape changes around the Aral Sea are presented.

The research results of the eruption process of volcanoes are illustrated by a series of pictures of ETNA eruption (Italy), they give a comprehensive idea of the eruption development. It has been discovered that the basic seismic center is a vent rather than the main crater. The hazardous effects of the volcanic activity on the international airlines are analyzed.

Keywords: Space monitoring; Satellite remote sensing of the Earth, Natural and technogenic catastrophes.

104(2009), 140 *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin*

Christian C. Tscherning
Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Denmark.

The use of Least-Squares Collocation for the processing of GOCE data

Abstract

The method of least-squares collocation (LSC) is based on ideas developed by H. Moritz for optimal interpolation, prediction, filtering and parameter estimation. The method was further developed by T.Krarup, for the use of solving partial differential equation like the Laplace equation using heterogeneous data both at the boundary and in space.

The method is therefore well suited to handle data to be measured by ESA‘s Gravity and Ocean Circulation Explorer mission. Orbit data observed by GPS may be used to determine the long-wavelength part of the gravity field while the band-limited gradiometer data may be used to determine shorter wavelengths down to 100 km.

The satellite is expected to collect millions of data, and this makes it impossible to use LSC which requires as many equations to be solved as the number of observations. However, LSC may be used to grid the data by prediction, and the gridded data results in systems of equations which can be solved by fast methods. Unfortunately the gridded data has to be considered as having uncorrelated errors. For small grids with 20000 observations numerical simulations have shown that error-correlations of computed spherical harmonic coefficients may be up to 40 % too small.

Other applications of LSC are in the use for GOCE calibration, where high quality ground data are used to predict GOCE measurements at satellite altitude.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 141*

Janusz B. Zielinski
Department of Planetary Geodesy,
Space Research Centre, Polish Academy of Sciences, Warsaw

Gradiometry and GNSS

Abstract

As we know, the gravity field model is the function of the geographical coordinates – latitude and longitude. However, if the rotating Earth is considered in the celestial or inertial reference frame, the model is time dependent. The model can be described in terms of different gravity field parameters, e.g. gradients of the gravity acceleration. Gravity satellite missions like GRACE or GOCE can provide gradient data. On the other hand the GNSS satellite constellations – because of its stability and precision - can substitute the inertial reference system. If equipped with the gradiometric sensors they can sense the rotation of the Earth by gradient measurements.

The question is what are physical limitations of the accuracy of such measurements, taking into account the attenuation of the longitudinal variations of the field model with height of the orbit. From the analysis it looks that such measurement is possible. If so, then the speed of the gravity signal in space could be measured by comparing the field model derived from the low orbit measurements (like GOCE) with the model obtained from high GNSS orbits.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *104(2009), 143–164*

Auf dem Kolloquium „Wissenschaftliche Geodäsie“ wurde auch eine größere Zahl von Postern vorgestellt. Die meisten von ihnen hat Heinz Kautzleben zusammengestellt, um über die Geschichte der Berliner Akademie und die Einbindung der Geodäsie in ihre Aktivitäten und die der Leibniz-Sozietät zu informieren. Aber auch andere Teilnehmer haben über ihre Institution oder ihren Beitrag informiert. Wir geben im Folgenden die Inhalte von vier dieser Poster wieder.

Die sieben großen Geodäten der Gelehrten Gesellschaft zu Berlin

Poster-Beitrag zum Kolloquium „Wissenschaftliche Geodäsie“
am 14. November 2008 in Berlin
vorbereitet von Heinz Kautzleben

Die Gelehrte Gesellschaft zu Berlin
wurde 1700 auf Initiative von Gottfried Wilhelm Leibniz
durch den Kurfürsten von Brandenburg gestiftet,
1992/93 wurde sie privatisiert, hat seit ihrer Gründung ihren Sitz
in der historischen Mitte von Berlin,
weist eine Mitgliederkette ohne Unterbrechung auf,
war zu allen Zeiten auf akademiespezifische Weise aktiv.

Die offiziellen Namen der Gelehrten Gesellschaft zu Berlin:

Brandenburgische Sozietät der Wissenschaften
Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften
Preußische Akademie der Wissenschaften
Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin
Akademie der Wissenschaften der DDR
Leibniz-Sozietät e.V.
Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

Die Änderungen waren die Folge von politischen Ereignissen,
die tief greifende Auswirkungen auf die Region Berlin hatten.

Die Gelehrte Gesellschaft zu Berlin ist seit ihrer Gründung
im Kern die Vereinigung der bedeutendsten Forscher
unter den in der Hauptstadt Berlin und deren Umgebung
tätigen Wissenschaftlern,
zählt zu ihren Mitgliedern weiter zahlreiche bedeutende
Forscher mit Arbeitsort außerhalb der Region, die eng
mit den Forschern in der Region zusammenwirken.
Funktionen – informell, aber effektiv -
nach innen (Meinungsbildung, Gutachten)
und nach außen (Vertretung, Kooperation)

Die Geodäsie ist zahlenmäßig
eine kleine Wissenschaftsdisziplin, hat aber
sehr große Bedeutung für Wissenschaft und Gesellschaft.
Die Gelehrte Gesellschaft zu Berlin zählte zu allen Zeiten
zu ihren Mitgliedern Astronomen und Geodäten,
die die Entwicklung der wissenschaftlichen Geodäsie
auch international maßgebend beeinflusst haben.
Als Disziplin der technischen Wissenschaften
fand die Geodäsie Eingang in die Gelehrte Gesellschaft
in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts.

Die sieben großen Geodäten
der Gelehrten Gesellschaft zu Berlin:

Pierre-Louis Moreau de Maupertuis
Karl Friedrich Gauß
Friedrich Wilhelm Bessel
Johann Jakob Baeyer
Friedrich Robert Helmert
Weikko Aleksanteri Heiskanen
Helmut Moritz

Pierre-Louis Moreau de Maupertuis

*28.09.1698 †27.07.1759
Mitglied seit 23.06.1735
Gradmessung in Lappland
Die Erde ist ein abgeplattetes Rotationsellipsoid.
Präsident der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften

Karl Friedrich Gauß

*30.04.1777 †23.02.1855
Mitglied seit 18.07.1810
Vermessung des Königreichs Hannover
Die mathematische Erdfigur ist eine Äquipotentialfläche des Schwerefeldes der Erde.
Direktor der Sternwarte in Göttingen

Friedrich Wilhelm Bessel

*22.07.1784 †17.03.1846
Mitglied seit 16.07.1812

Gradmessung in Ostpreußen
Ellipsoid von Bessel
Direktor der Sternwarte in Königsberg i. Pr.

Johann Jakob Baeyer

*05.11.1794 †11.09.1885
Mitglied seit 27.05.1865
Initiator der Mitteleuropäischen Gradmessung
(erste internationale Organisation zur wissenschaftlichen
Zusammenarbeit der Geodäten)
Gründer des Königlich Preußischen Geodätischen Institutes

Friedrich Robert Helmert

*31.07.1843 †15.06.1917
Mitglied seit 31.01.1900

„Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie"

Direktor des Königlich Preußischen Geodätischen
Instituts und des Zentralbüros der
Internationalen Erdmessung

Weikko Aleksanteri Heiskanen

*23.07.1895 †23.10.1971
Mitglied seit 29.06.1950

Isostasie und ihre geodätische Nutzung
„World Geodetic System“ Geodäsie-Professor und
Institutsdirektor in Finnland und den USA

Helmut Moritz

*01.11.1933
Mitglied seit 14.06.1984

„Vormann" der modernen Physikalischen Geodäsie
Professor der Physikalischen
Geodäsie in Deutschland, USA und Österreich
Präsident der IAG und der IUGG

Zum Schluss

Seit Baeyer und Helmert begann für einen Geodäten
der Weg in die Gelehrte Gesellschaft zu Berlin mit
der Tätigkeit bzw. der Zusammenarbeit mit dem
Geodätischen Institut in Potsdam.
Für Jahrzehnte war Helmert der Maßstab für die Zuwahl.

In der heutigen Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin
ist die wissenschaftliche Geodäsie stark vertreten und aktiv.

Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

Arbeitskreis Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astrowissenschaften

Anfragen an kautzleben.leibniz-sozietaet@t-online.de

Im
Arbeitskreis Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astrowissenschaften
wirken die Mitglieder der Leibniz-Sozietät, deren Arbeits- und Interessengebiete den genannten Wissenschaftsgebieten zugeordnet werden können, zusammen,
um die Wissenschaft auf akademiespezifische Weise zu fördern.

Der Arbeitskreis lädt alle fachlich interessierten Wissenschaftler zur Mitwirkung ein.

Der Arbeitskreis organisiert
Vortrags- und Diskussionsveranstaltungen
zu aktuellen Themen seiner Wissenschaftsgebiete,
häufig aus Anlass von Jubiläen, immer als „Wortmeldung“ der Leibniz-Sozietät.

Die Veröffentlichung der Ergebnisse wird aus Eigenmitteln der Leibniz-Sozietät, durch Spenden von Freunden der Sozietät, z. T. durch Projektfördermittel
des Berliner Wissenschaftssenators finanziert.

Wissenschaftliches Kolloquium
zum 75. Geburtstag von Hans-Jürgen Treder
am 2. Oktober 2003

Mit Beiträgen von Gottfried Anger & Helmut Moritz*, Joachim Auth*, Rainer Burghardt, Ernst Buschmann, Holger Filling & Ralf Koneckis, Fritz Gackstatter, Dieter B. Herrmann*, Werner Holzmüller, Herbert Hörz*, Heinz Kautzleben*, Helmut Moritz*, Thomas Schalk, Hans Scheurich, Rainer Schimming, Karl-Heinz Schmidt, Wilfried Schröder*, Klaus Strobach*, Armin Uhlmann* und Gerald Ulrich
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Veröff. in „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“, Band 61, Jahrgang 2003

Projekt
„Neue Ergebnisse der Geo- und Kosmoswissenschaften
Teil I - Geophysik, Geodäsie, Weltraumforschung, Geologie, Montanwissenschaften"

Kolloquium am 29.04.2004

Mit Beiträgen von Peter Bankwitz*, Karl-Heinz Bernhardt*, Alexander Frischbutter mit Koautoren, Fritz Gackstatter, Georg Kowalle, Günter Leonhardt*, Karl-Heinz Marek,
Heinz Militzer*, Diedrich Möhlmann und Horst Montag
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Veröff. in „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“, Band 70, Jahrgang 2004

Projekt
„Neue Ergebnisse der Geo- und Kosmoswissenschaften
Teil II - Atmosphärische Wissenschaften, Geophysikalische Hydrodynamik, Zeitreihenanalyse"

Kolloquium „Theoretische Probleme von Meteorologie und geokosmischer Physik" anlässlich des 100. Geburtstages von Hans Ertel am 26. März 2004

Mit Beiträgen von Hannelore Bernhardt, Karl-Heinz Bernhardt*, Wolfgang Böhme*,
Heinz Fortak, Olaf Hellmuth, Heinz Kautzleben*, Helmut Moritz*, Peter Nevir und Koautoren, Helmut Pichler, Klaus Strobach*, Hans-Jürgen Treder*, Astrid Ziemann
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Veröff. in „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“, Band 71, Jahrgang 2005

Projekt
„Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen"

Workshops am 07.10.2004, 10.12.2004, 04.03.2005 und 15.07.2005, Kolloquium am 25.11.2005

Mit Beiträgen von Helmut Abel*, Karl F. Alexander*, Wolfgang Böhme*, Gerhard Brandl, Günter Flach*, Klaus Dieter Jäger*, Heinz Kautzleben*, Lothar Kolditz*, Karl Lanius*, Johann Lingertat*, Siegfried Nowak*, Klaus Steinitz* und Klaus Thiessen
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Veröff. in „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“, Band 82, Jahrgang 2005

„Aktuelle Aspekte der Meteorologie und Klimatologie"
Kolloquium der Leibniz-Sozietät am 20.01.2006
anlässlich des 70. Geburtstages von Karl-Heinz Bernhardt

Mit Beiträgen von Karl-Heinz Bernhardt*, Wolfgang Böhme*,
Wolfgang Enke et al.,
Olaf Helmuth, Heinz Kautzleben*, Brigitte Klose, Gabriele Malitz,
Detlev Möller*,
Dietrich Spänkuch* & Jürgen Güldner, Astrid Ziemann & Manuela Barth
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Veröff. in „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“, Band 86, Jahrgang 2006

Kolloquium
„Fortschritte der Geowissenschaften"
am 26. Oktober 2006

Mit Beiträgen von Heinz Kautzleben*, Georg Kleinschmidt, Jürgen Kopp,
Diedrich Möhlmann*, Helmut Moritz*, Hans Eckhard Offhaus und
Wilfried Schröder*
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Elektronische Dokumentation aller Vorlagen bei Heinz Kautzleben

Workshop „Ergebnisse und Probleme
der geophysikalischen Wissenschaften"
am 3. Mai 2007

Mit Beiträgen von Gottfried Anger, Peter Bankwitz*,
Karl-Heinz Bernhardt*,
Wolfgang Böhme*, Hans-Jürgen Brosin, Heinz Kautzleben*,
Günter Leonhardt*,
Heinz Militzer*, Peter Knoll, Jürgen Schön* und Dietrich Spänkuch*
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Elektronische Dokumentation aller Vorlagen bei Heinz Kautzleben

Leibniz-Tag am 28. Juni 2007
Festvortrag von Helmut Moritz*
„Das Internationale Geophysikalische Jahr 1957/58
und seine Folgen"
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)

Veröff. in „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“, Band 94, Jahrgang 2008

Projekt
„50 Jahre Weltraumforschung.
Erforschung und Überwachung der Erde und des Weltraumes
gestützt auf die Mittel der Raumfahrt"
Kolloquium am 29.September 2007

Mit Beiträgen von J. Albertz, K.-D. Berge, A. Drexler, F. Gehlhar, C. Grote*,
E. Hauber, H.-J. Haubold, O. Hellmuth, D. B. Herrmann*, S. Jähn,
H. Kautzleben*, U. Köhler,
T. von Larcher, H. Montag, W. Papenfuß, R. Rummel*, M. Schladebach,
M. von Schönermark, D. Spänkuch*, R. Titz, z. T. mit Koautoren
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Veröff. in „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“, Band 96, Jahrgang 2008

Kolloquium
„Probleme der Geologie"
anlässlich des 50. Todestages von
Akademiemitglied Serge von Bubnoff
am 8. und 9. November 2007

Mit Beiträgen von P. Bankwitz*, R. Daber, S. Franck*, R. O. Greiling,
K.-H. Jacob,
Th. Kaemmel, H. Kautzleben*, L. Kolditz*, J. Kopp, G. Möbus, R. Seltmann,
E. Wallbrecher, z. T. mit Koautoren
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Veröff. vorgesehen in „Z. f. geologische Wissenschaften“

Kolloquium
zum 120. Geburtstag von Serge von Bubnoff
„Zu Grundproblemen der Geologie"
am 8. Oktober 2008

Mit Beiträgen von P. Bankwitz*, J. Cosgrove, R. Daber, F. Damaschun, B.-D. Erdtmann, R. O. Greiling, Th. Kaemmel, H. Kämpf, H. Kautzleben*, Th. Kenkmann, R. Kind,
F. Lehner, A. Müller, M. Schidlowski, G. Schneider, B. Schröder, F. Schust, M. Steiner,
E. Wallbrecher und J. Wasternack
(* Mitglied der Leibniz-Sozietät)
Zu einem großen Teil veröff. in „Z. f. geolog. Wissenschaften“

Kolloquium
„Wissenschaftliche Geodäsie"
anlässlich des 75. Geburtstages von Helmut Moritz*
am 14. November 2008
(*Mitglied der Leibniz-Sozietät)

Veröff. in „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“ Band 104, Jahrgang 2009

Inzwischen durchgeführt:

Wissenschaftliches Kolloquium
zum Internationalen Jahr der Astronomie
am 28. Februar 2009

Mit Beiträgen von: Karl-Heinz Bernhardt, Dieter B. Herrmann, Jürgen Hamel,
Klaus-Dieter Herbst, Thomas Posch, Tobias Jung, Helmut Lindner, Jörg Zaun,
Rolf Riekher, Felix Lühning, Oliver Schwarz, Ulrich Cubasch
Veröff. in „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“ Band 103, Jahrgang 2009

Der Arbeitskreis lädt alle interessierten Wissenschaftler ein, an der Förderung der Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astrowissenschaften auf akademietypische Weise mitzuwirken.

Friedrich Georg Wilhelm Struve (Wilhelm von Struve)
Astronom und Geodät im Russischen Reich

* 15.04.1793 Altona † 23.11.1864 Pulkowo
1813–1838 Professor der Astronomie in Dorpat
1839–1862 Direktor der Sternwarte Pulkowo
1822/1832 Korr. bzw. Ord.Mitglied der Russischen AdW
1834 Korr. Mitglied derPreußischen AdW

Struves Arbeiten zur Geodäsie:

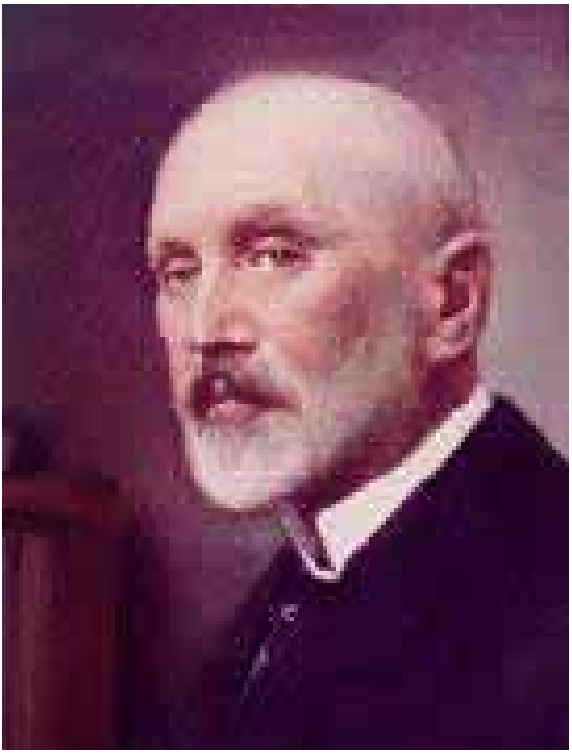
1816–1819 Triangulation in Livland
Der „Struve-Bogen“
Triangulationskette von Fuglenes bei Hammerfest/Norwegen bis Staro-Nekrassowka bei Ismajil/Ukraine durch Norwegen, Schweden, Finnland, Russland, Estland, Lettland, Litauen, Weißrussland, Moldawien, Ukraine
über 2820 km Nord-Süd-Erstreckung,
errichtet von 1816 bis 1852 unter Aufsicht F. G. W. Struves und des Generals Carl F. Tenner (UNESCO-Weltkulturerbe)

Zusammenarbeit mit F. W. Bessel und J. J. Baeyer

Eötvös Lorand
(Roland von Eötvös)
1848–1919
Physiscist, geodesist and geophysicist

by Jozsef Adam
Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Poster to be presented
at the Colloquium „Scientific Geodesy“
on November 14, 2008 at Berlin



* 27.07.1848 Buda † 08.04.1919 Budapest

1872 Prof. of Physics, Pest University
1873 Assoc. Member of the Hungarian Acad. of Sci.
1883 Full Member of HAS 1889-1905 President of HAS
06.01.1910 Corr. Member of the Prussian Acad. of Sci.

His work

The Torsion Balance
Studies of the Gravity Field
(Foundation of Geophysics)
Inertial and Gravitational Mass
(„Eötvös Experiment“)
Determination of the gravitational constant

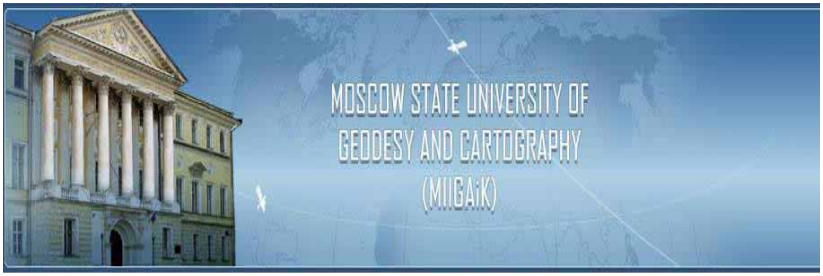
Important papers

R. Eötvös: Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwaage. Verhandlungen der XV. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung in Budapest, 1906
R. v. Eötvös, D. Pekar, E. Fekete: Beiträge zum Gesetz der Proportionalität von Trägheit und Gravität. Submitted to the Bennecke Foundation in Göttingen, 1909
[Preprints, 1998]

References:

Roland Eötvös: Gesammelte Arbeiten. Edited by P. Selenyi, Hungarian Academic Press, Budapest, 1953, 385 pages

Lorand Eötvös Virtual Museum. www.elgi.hu/museum
Questions to:: jadam@sci.fgt.bme.hu



Moscow State University of Geodesy and Cartography
(MIIGAiK)

SPACE MONITORING FOR NATURE AND ANTHROPOGENIC DISASTERS

By
Victor P. Savinykh,
Moscow State University of Geodesy and Cartography,
President, Prof. Dr.,
Space Pilot,
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

Paper to be presented at the Colloquium „Scientific Geodesy"
on Nov. 14, 2008, at Berlin

www.miigaik.ru (russisch und englisch)

By the present time a great experience has been accumulated to use space imaging of the Earth for monitoring various disasters as well as the changes related to such phenomena as the global warming of the climate caused by the growth of the concentration of hotbed gases in the atmosphere and the ozone layer depletion.

Wide scope of applications of space data of satellite remote sensing of the Earth, their high resolution, reliability and exclusive promptitude (actually onlineless) enable the traditional problems of

natural study to be solved in addition to fast-speed processes, including natural and technological catastrophes, being explored.

The paper deals with the pecularities of application of long-term manned orbital stations for monitoring the Earth's surface.

Space monitoring of tropical cyclones (KATRINA, PHILIPPE and RITA) as well as tsunamis and their consequences are discussed.

The effects of the Kolka glacier collapse (the Karmadon gorge, Russia) are considered.

The research results of the dynamics of the coastal line and landscape changes around the Aral Sea are presented.

The research results of the eruption process of volcanoes are illustrated by a series of pictures of ETNA eruption (Italy). They give a comprehensive idea of the eruption development. It has been discovered that the basic seismic center is a vent rather than the main crater.
The hazardous effects of the volcanic activity on the international airlines are analyzed.

Questions to: president@miigaik.ru