Kolloquium der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. am 13.02.2015 in Berlin anlässlich des 75. Geburtstages von Erik W. Grafarend, Mitglied der Leibniz-Sozietät, mit Prolog am 12.02.2015

Abstracts der Vorträge

Vorträge zum Prolog am 12.02.2015

Hans Sünkel (Graz),
Mitglied der Leibniz-Sozietät, Technische Universität Graz
mailto: hans.suenkel@tugraz.at

Das Geoid – theoria cum praxi et commune bonum

Das komplexe Objekt Erde hat mannigfache Gesichter: Form und Größe, Dichte-, Druck- und Temperaturverteilung, Rotationsverhalten, dynamische Prozesse, Magnetfeld, Schwerefeld und dergleichen mehr. Und jede individuelle Betrachtung liefert ein ebenso individuelles Bild des Objektes Erde, und erst die Kombination dieser Einzelbilder lässt uns Zusammenhänge erkennen, gedanklich und schließlich mathematisch-numerisch in ihr Innenleben vordringen und so sukzessive das System Erde besser verstehen. Unsere wissenschaftliche Neugier drängt uns danach und die wirtschaftlichen Notwendigkeiten sind es, die unserem Anliegen Nachdruck verleihen.
Wenn das wissenschaftliche Hauptaugenmerk auf das Schwerefeld der Erde und seine Figur in mathematisch-physikalischer Ausprägung gelegt wird, dann steht das „Geoid“ im Fokus der Betrachtung. Die Geodäsie beschreibt das Geoid als eine „Äquipotentialfläche im mittleren Meeresniveau“. Sehr viel salopper könnte das Geoid als „Role Model“ gelten– eine statische Fläche, die in guter Näherung durch die Oberfläche eines (fiktiven) ruhenden Ozeans beschrieben wird. Und besonders bodenständig könnte man sich der Wasserwage bedienen, diesen „Sensor“ an jedem beliebigen Punkt des Geoids in jeder beliebigen Richtung anlegen, und er würde stets „horizontal“ melden. In diesem Sinne ist dieses „Role Model“ namens Geoid gleichsam eine globale Horizontale.
Wissenschaftliche Neugier oder vielleicht doch Notwendigkeit? Drei Antworten seien hier gegeben, die eine Brücke spannen von der Theorie über den Weg der Praxis bis hin zur wirtschaftlichen Notwendigkeit - theoria cum praxi et commune bonum:

1. Geoid und das Erdinnere: Wenn man von der Rotation der Erde absieht, dann ist es die nicht ganz regelmäßige Massenverteilung des gesamten Erdkörpers, die dem Geoid seine unregelmäßige Form verleiht, da sich die Massenverteilung im Gravitationsfeld und folglich im Geoid abbildet. Der Umkehrschluss scheint daher naheliegend, nämlich aus der Kenntnis des Geoids einen Blick in das Erdinnere zu wagen und zu versuchen, aus der Wirkung „Gravitationsfeld“ auf seine Ursache „Massenverteilung“ zu schließen. Dieser erhoffte Blick ins Erdinnere ist jedoch mit einem schwierigen inversen Problem gleichzusetzen, das nicht eindeutig ist und zur Vermeidung von Phantomlösungen zusätzliche Quelleninformation, vor allem in Form der Laufzeit seismischer Wellen, benötigt.
2. Geoid und Meeresoberfläche: Die tatsächliche Meeresoberfläche ist von Strömungen und Oberflächenwellen gekennzeichnet, die zahlreiche Ursachen haben: Erdrotation, Gezeiten, Wind, Temperatur, Luftdruck, aber auch Salzgehalt, etc. bewirken eine Dynamik der Ozeane und somit eine Abweichung der Meeresoberfläche vom ruhenden „Role model“.

Und wenn die Geometrie der Ozeanoberfläche auf das (physikalisch definierte) Geoid bezogen wird, so erhalten wir Kenntnis über die globalen Ozeanströmungen und somit auch über die Umverteilung von Wärmeenergie als bedeutende Information für die Klimaforschung.

3. Geoid als Höhenbezugsfläche: Alle orthometrischen Höhen werden von diesem „Role Model“ aus gezählt. Das Geoid ist somit eine Bezugsfläche für Höhen. Und absolute Höhen hoher Genauigkeit erfordern auch eine absolute Bezugsfläche mit ebensolcher Genauigkeit. Also benötigen wir ein Geoid gleichsam als lokal horizontale Plattform, als Bezugsfläche mit der größtmöglichen Genauigkeit.

Globale Strukturen erfordern naturgemäß globale Verfahren zu deren Bestimmung. Daher wurden seit dem Jahr 2000 gleich drei dedizierte Satellitenmissionen realisiert, die allesamt - mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung – ein Ziel verfolgten, nämlich die Bestimmung des Geoids: CHAMP, GRACE und GOCE. Eine daraus abgeleitete Geoidlösung ist zwar global und hoch genau, ihre räumliche Auflösung ist jedoch systembedingt begrenzt. Es bedarf daher regionaler Verfeinerungen auf der Basis terrestrischer Schwerefelddaten und einer konsistenten Verarbeitung durch Datenkombination.
Und eine Projektion in die ferne Zukunft lässt uns spekulieren, die auf das Geoid bezogenen Höhen präzise mit Uhren (!) zu messen und nicht mehr durch Nivellement wie bisher. Raum wird also ersetzt durch Zeit, und der allgemein-relativistische Effekt der – wenn auch extrem geringen - Frequenzabhängigkeit von Atomuhren vom jeweils lokalen Gravitationspotential wird uns dies ermöglichen.
Und schließlich wird das Global Geodetic Observing System der sich abzeichnenden Zukunft mit dem Geoid als integrierter global-horizontaler Plattform wird aber noch sehr viel mehr bieten: ein präzises Monitoring unseres gesamten Planeten als Grundvoraussetzung für das Verständnis seiner dynamischen Entwicklung und deren Vorhersage. Diese Weiterentwicklung beruht naturgemäß auf theoretischen Entwicklungen und deren Umsetzung in Hochtechnologie, aber ebenso auf interdisziplinärem Handeln und intensiver internationaler Zusammenarbeit – ein Tun, das keine Grenzen kennt – weder fachliche, noch nationale – theoria cum praxi et commune bonum.

****

Harald Schuh (Potsdam),
Mitglied der Leibniz-Sozietät, Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ Potsdam, Vicepresident International Association of Geodesy
mailto: schuh@gfz-potsdam.de

Beiträge der Geodäsie zur Beobachtung von Naturgefahren und globalen Veränderungen

Definition und Realisierung von präzisen und stabilen Referenzrahmen spielen eine wichtige Rolle in der modernen Geodäsie, da sie erforderlich sind, wenn wir Veränderungen auf der Erde wie die Plattentektonik oder den globalen Meeresspiegelanstieg erfassen möchten. Es wird eine Übersicht über die verschiedenen Naturgefahren und die Phänomene globaler Veränderung gegeben, die mittels geodätischer Verfahren beobachtet werden können. Verschiedene Messverfahren kommen abhängig vom räumlichen Maßstab zum Einsatz, von geodätischen Weltraumverfahren wie GNSS (globale Navigationssatellitensysteme), SLR (Laserentfernungsmessungen zu Satelliten), VLBI (Radiointerferometrie auf langen Basislinien) und DORIS (Bahnbestimmung von Satellitenbahnen mit Hilfe des

Dopplereffekts von Radiosignalen) bis zu lokalen Messungen mit geodätischen Vermessungsinstrumenten. All diese Verfahren werden in GGOS (Global Geodetic Observing System), dem globalen Beobachtungssystem der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) kombiniert. Das Konzept dieses integrativen Unterfangens wird vorgestellt. Anhand von Fallbeispielen wird die essentielle Rolle präziser geodätischer Daten, genauer Analysemethoden und realistischer mathematischer und physikalischer Modelle gezeigt.

*****

Vorträge zum Kolloquium am 13.02.2015

Helmut Moritz (Graz),
Mitglied der Leibniz-Sozietät, Technische Universität Graz
mailto: helmut.moritz@tugraz.at

Erik Grafarend und die theoretische Geodäsie

Man findet heute kaum einen Wissenschaftler, einen Geodäten, der in seinem Denken und seinem Werk eine so umfassende und vollständige Synthese aller relevanten Gebiete der Mathematik und Physik aufgebaut hat wie Erik Grafarend. Nicht nur der Theorie wegen, sondern auch immer in Hinblick auf Anwendungen. Seinem Feuergeist gelingt ihm auch immer wieder, jüngere Wissenschaftler aus Geodäsie, Mathematik und Physik zur Mitarbeit zu gewinnen. Seine Universalität erinnert an Leibniz (Leibniz-Sozietät !) ; ich möchte ihn als Humanisten bezeichnen.

Einführung

Der Begriff der Geodäsie als Vermessung und Kartierung der Erdoberfläche ist eine der ältesten Aufgaben der Menschheit. Auf Deutsch heißt sie „Erdmessung“ , ins Griechische wörtlich übersetzt: „geometria“. Die „Geometrie“ ist aber sehr bald ein sehr allgemeiner Begriff geworden, ein Teil der Mathematik, und Geodäsie (griechisch wörtlich „Erdteilung“) ist nur mehr ein Teil der Geometrie, zusammen mit grundlegenden Aufgaben der Physik. Freilich haben die Probleme der Erdmessung seit mehr als zwei Jahrtausenden wesentliche Anregungen für Mathematik und Physik geliefert, von Pythagoras über die großen französischen Mathematiker des 18. Jahrhunderts und schließlich über Carl Friedrich Gauß bis in die heutige Zeit.

Hauptarbeitsgebiete von Erik Grafarend

Physikalische Geodäsie. Das klassische Gebiet der *physikalischen Geodäsie* umfasst also Anwendung der Mathematik und Physik auf die Erdmessung, einschließlich der Satellitengeodäsie. Von Grafarend hauptsächlich bearbeitet ist moderne Differentialgeometrie, zunächst in der Relativitätstheorie (Einstein-Cartan-Weil), aber auch der Anwendung der klassischen Mechanik (und verschiedener Variationsprinzipien nach Fermat, Hamilton, Jacobi usw.) in der modernen Geodäsie. Auf letzterem Gebiet ist ihm gelungen, namhafte Mathematiker und Physiker zur Zusammenarbeit zu gewinnen, vor Allem aber auch jüngere Wissenschaftler. Hier würde ich ihn als Pionier bezeichnen. Neuerdings arbeitet er auch auf dem schwierigen Gebiet der Differentialgeometrie im Größen, nicht nur theoretisch, sondern auch auf die geodätische Anwendung hin orientiert.

Kartographie und Kartenprojektionen . Schon früh hat Erik Grafarend seine mathematischen Kenntnisse in neuartiger Weise auf das klassische Gebiet der mathematischen Kartographie angewendet. Das Ergebnis sind klassische Vorlesungen und zwei Lehrbücher (!).

Photographie und Fernerkundung gelten als spezielle Fachgebiete. Für Erik Grafarend sind sie aber ein Hobby: ein Lehrbuch ist im Druck.
Ausgleichungsrechnung. Weltweit anerkannt sind seine Beiträge zu Ausgleichsrechnung, Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie, aber auch Statistik auf Mannigfaltigkeiten (Kugel und Ellipsoid): geodätische stochastische Prozesse: drei Bücher.
Allgemeines und Schlusswort. Erik Grafarend ist ein feinsinniger und hilfsbereiter Mensch (was ich persönlich erleben durfte) Auch seine vielseitigen Interessen (von Musik bis Philosophie) und sein Humanismus sind sehr bemerkenswert. Er ist ein seltener Universalgelehrter, der an Leibniz erinnert.

*****

Heinz Kautzleben (Berlin),
Mitglied der Leibniz-Sozietät, Sprecher des Arbeitskreises Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astrowissenschaften
mailto: kautzleben@t-online.de

Laudatio der Leibniz-Sozietät auf ihr Mitglied Erik W. Grafarend (Stuttgart)

Die Leibniz-Sozietät, rechtsverbindlich: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V., ist eine akademische Gelehrtengesellschaft. Sie vereint aktuell über 300 Gelehrte, sie vertreten fast ebenso viele unterscheidbare Fachgebiete aus den Natur- und den Humanwissenschaften, den Technikwissenschaften, der Medizin, den Sozial- und den Geisteswissenschaften, eben auch den Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astrowissenschaften. Erik Grafarend wurde im Mai 2004 durch das Plenum der Leibniz-Sozietät zum Mitglied dieser Gelehrtengesellschaft gewählt.
Die Leibniz-Sozietät ist die Gelehrtengesellschaft, deren Mitglieder sich laut Statut vereinen, um die Wissenschaft zu fördern (erstens) auf akademie-typische Weise, (zweitens) in der Tradition der Gelehrtengesellschaft, die nach den Vorstellungen von Gottfried Wilhelm Leibniz 1700 als „Kurfürstlich Brandenburgische Sozietät der Wissenschaften“ gegründet wurde und seitdem ohne Unterbrechung mit dem Sitz in der historischen Mitte von Berlin besteht und tätig ist, ab 1993 als privatrechtlicher Verein mit dem Namen „Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin“, und (drittens) uneigennützig im Interesse der Allgemeinheit. Mitglied der Leibniz-Sozietät können nur hervorragende Wissenschaftler mit anerkannten Forschungsleistungen und Führungsqualitäten werden – und nur auf dem Wege der Zuwahl. Das Ansehen und die Leistungen der Gelehrtengesellschaft – folglich auch die Wirkung und der Nutzen für das einzelne Mitglied – werden durch die Mitglieder selbst bestimmt, und zwar durch die Beiträge, die jedes einzelne Mitglied einbringt. Erik Grafarend ist wirklich Mitglied der Leibniz-Sozietät!
Erik Grafarend gehört zu den führenden Gelehrten, die in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland, dem Kernstaat des heute vereinten Deutschlands, Karriere gemacht haben. Und er gehört von ihnen zu den ersten, die die Zuwahl zum Mitglied der Leibniz-Sozietät angenommen haben. Er wurde zum Mitglied der Leibniz-Sozietät gewählt, weil er die wissenschaftliche Geodäsie in herausragender Weise vorangebracht hat, weil er auf seinem Fachgebiet Führungsqualitäten und ein unbestechliches Urteilsvermögen besitzt. Wir kannten seine wissenschaftliche Laufbahn, wollten seine Leistungen würdigen und von ihnen profitieren. In den bisher zehn Jahren seiner Mitgliedschaft in unserer Gelehrtengesellschaft hat Erik die in ihn gesetzten Hoffnungen vorbildlich erfüllt.
Aus der Sicht der Leibniz-Sozietät wollen wir drei großartige Leistungen von Erik Grafarend in der universitären Forschung und Lehre unterstreichen: erstens die zur Förderung des

wissenschaftlichen Nachwuchses, zweitens sein Wirken in der Alexander von Humboldt-Stiftung und drittens als Gutachter der Deutschen Forschungsgemeinschaft für Projektanträge. Erik Grafarends Leistungen in der wissenschaftlichen Forschung fanden hohe Anerkennung und Würdigung, nicht zuletzt durch die Wahl zum Mitglied von akademischen Gelehrten-gesellschaften. Die Leibniz-Sozietät war 2004 die erste, die Erik Grafarend zu ihrem Mitglied wählte. Es folgten 2010 die Finnische Akademie der Wissenschaften und Literatur und die Ungarische Akademie der Wissenschaften.
Hoch anzuerkennen ist seine Mitwirkung im Arbeitskreis Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astrowissenschaften der Leibniz-Sozietät. Der Arbeitskreis hat seit seiner Gründung vor etwa zehn Jahren nahezu zehn wissenschaftliche Kolloquien zu Themen der Geodäsie bzw. Geodäsie-relevanten Themen durchgeführt. Zu allen diesen Veranstaltungen hat Erik Grafarend bedeutende Beiträge geleistet, die nachhaltig wirken.
Die Leibniz-Sozietät zollt ihrem Mitglied Erik Grafarend die ihm gebührende hohe Anerken-nung, indem sie zum Anlass für das heutige Kolloquium seinen 75. Geburtstag genommen und zum Thema die wissenschaftlichen Gebiete gewählt hat, mit denen er sich schöpferisch befasst hat und die ihn als Gelehrten besonders interessieren.

*****

Reiner Rummel (München),
Mitglied der Leibniz-Sozietät, Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, Technische Universität München
mailto: rummel@bv.tum.de

Operational Geodesy, Rank Deficiencies and Geodetic Heights

At the Second International Summerschool in the Mountains on Mathematical Methods in Physical Geodesy (Moritz & Sünkel, 1978) Erik Grafarend laid out in a grand synthesis his ideas on an “operational geodesy”. His concept was inspired as well by the theoretical discussions on collocation and the solution of the geodetic boundary value problem going on at that time as by the most advanced statistical literature. Among others Grafarend classified the geodetic observables according to their information content and their role in a finite or even infinite dimensional network. His profound analysis took place almost forty years ago. In the meantime space geodesy, in particular Global Navigation Satellite Systems (GNSS), satellite altimetry and satellite gravimetry have changed the face of modern geodesy. But do these new techniques change the essence of Grafarend’s analysis?
Using the rather simplified “one-dimensional” example of geodetic height determination (or determination of gravity potential differences) it will tried to address this question.

*****

Petr Holota (Prag)
Mitglied der Leibniz-Sozietät, Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography
250 66 Zdiby 98, Praha-vychod, Czech Republic
mailto: petr.holota@pecny.cz

Summation of Series and an Approximation of Legendre's Functions in Constructing Integral Kernels for the Exterior of an Ellipsoid: Application to Boundary Value Problems in Physical Geodesy

Integral kernels are an important tool used in solving boundary value problems. The paper primarily concerns physical geodesy applications and thus problems associated with Laplace's and Poisson's partial differential equation that offer a natural basis for gravity field studies. Traditionally and very often solution methods applied in this area rest on a mathematical apparatus that actually was developed for a spherical boundary. This, seemingly, has an advantage. Nevertheless, a sphere is rather far from the real shape of the Earth, which has a negative effect on any attempt to reach the solution of the original boundary value problem by means of an iteration procedure. In this paper, therefore, problems are considered that are formulated for the boundary given by an oblate ellipsoid of revolution. In this connection the construction of Green's function of the first and the second kind (Neumann's function) is discussed within the classical concept of the solution. Similarly, within the weak solution concept the discussion deals with the construction of the reproducing kernel of Hilbert's space of functions that are harmonic in the exterior of an oblate ellipsoid of revolution. In the first stage the kernels are represented by series of ellipsoidal harmonics. However, the manipulation with these series and a numerical implementation of the integral kernels in this case are rather demanding, in particular for a high resolution modeling of the solution. This stimulates studies towards an analytical summation of the series representing the kernels mentioned above. In solving this problem some approximations of Legendre's functions of the second kind are used. Two alternatives are discussed. The first approach is based on the solutions of an approximation version of Legendre's ordinary differential equation (limit layer approach). In the second alternative the Legendre's functions are approximately represented by hypergeometric functions and series. Subsequently, in both the cases the integrals kernels are split into parts given by series of Legendre's functions of the first kind. Their summation is shown and the use of elliptic integrals is pointed out. Finally, the results based on the alternatives applied for the approximation representation of Legendre's functions of the second kind are compared and discussed.

*****

Prof. Dr. **Friedrich Hehl**,
Universität zu Köln und University of Missouri-Columbia
mailto: hehl@thp.uni-koeln.de

On a rotating black hole and the gravitomagnetism in Einstein's theory of gravity

Already at the beginning of his career, Erik Grafarend was interested in nonRiemannian geometry, namely in Kawaguchi geometry, in differential geometry generally and, specifically, in the calculus of exterior differential forms. He always wanted to have the best mathematical tools for mine-surveying, for application in physics and in geodesy. If we consider the rotating Earth together with its gravitational field—and this is of central interest in any institute of geodesy—then the best available description is within the framework of general relativity. For most practical purposes, the gravitational field of the rotating Earth is need only up 2nd post-Newtonian approximation. However, in this short eulogy on Erik, I will display the exact Kerr vacuum solution of general relativity, which depends on the 2 parameters mass and angular momentum. In particular, I will discuss the gravitomagnetic

field of the Kerr solution, which vanishes in Newtonian approximation. Some dis/similarities between the Kerr solution and the rotating Earth will be touched.

*****

Prof. Dr. **Hans-Rainer Trebin**
Institut für Theoretische und Angewandte Physik der Universität Stuttgart
mailto: trebin@itap.uni-stuttgart.de

Applications of fiber bundles in physics: From cosmology to electronic states of matter

The geoid is in good approximation a curved differential manifold as is the relativistically described space-time of our cosmos. Local physics takes place in the tangent plane at each point. Basic manifold plus tangent planes form a special case of fiber bundle, a "tangent bundle". In the general case the "fiber" tangent plane is replaced by an arbitrary vector space upon which a symmetry group is acting.
Parallel transport of fiber vectors along paths in the basic manifold can be defined and leads to the notion of linear connection and curvature. Integrals over certain functions of the curvature tensor yield integer numbers as for example the Euler characteristic of closed two-dimensional surfaces in three-dimensional space.
The concept of fiber bundles has been applied to quantum mechanical particles where the force fields (electric and magnetic field, weak or strong force) turned out to play the role of curvature.
Recently, electronic states of insulators were described by fiber bundles, with the linear connection being identified by the so called "Berry phase". Integrals over the corresponding curvature again yield integers denoted Chern numbers or "topological quantum numbers". These numbers are new characteristics of condensed matter systems. When a number is nonzero, exotic physical properties show up.
The first example has been the quantum Hall effect, discovered by Nobel laureate Klaus von Klitzing, where the Hall conductance is an integer multiple of the basic value e^2/h (e: charge of an electron, h: Planck constant). In the meantime, nontrivial topological insulators were identified in HgTe/CdTe quantum wells, BiSb alloys, and Bi_2Te_3 and Bi_2Se_3 crystals. They are insulators in the bulk, but show robust dissipationless surface currents.
Thus concept of fiber bundles is applicable to a wide range of physical systems and has led to prediction and discovery of new topological states of quantum matter.

*****

Rainer Schimming (Potsdam),
Mitglied der Leibniz-Sozietät
mailto: rschimming@t-online.de

Das Buch der Natur ist in der Sprache der Differentialgleichungen geschrieben

Der Vortragstitel spezifiziert ein bekanntes Bonmot von Galilei, dem Stammvater der neuzeitlichen Physik. In der Tat haben fundamentale physikalische Gesetze die Form von Differentialgleichungen - partielle für Felder und Medien, gewöhnliche für die Bewegung von Teilchen. Feldgleichungen vom hyperbolischen, parabolischen, elliptischen Typ beschreiben

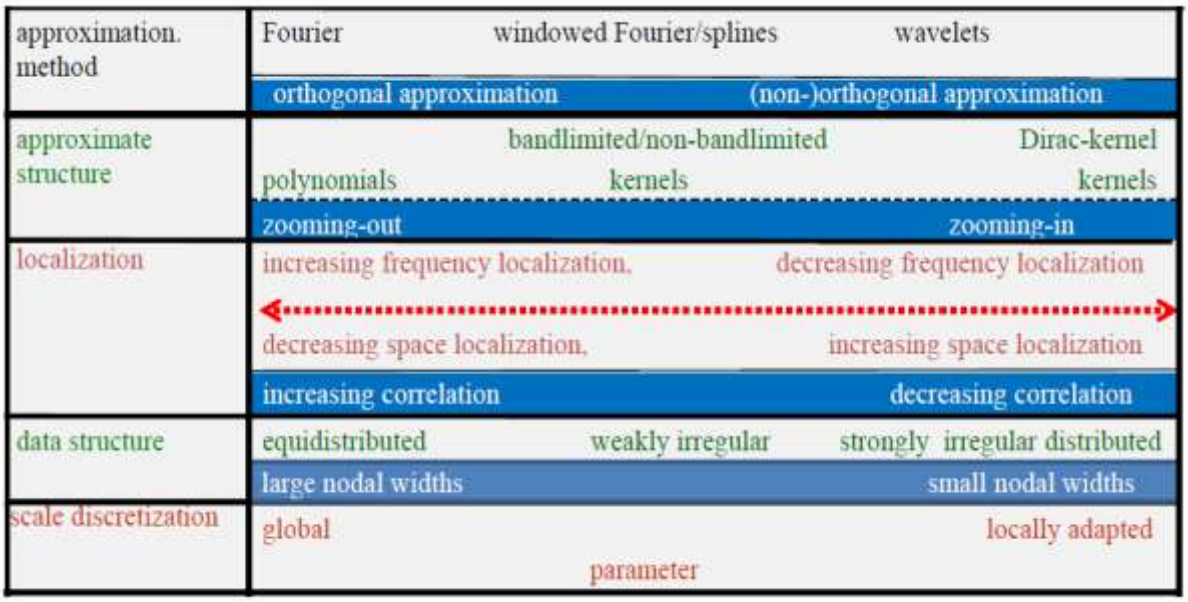
beziehentlich Wellenerscheinungen (Schall, elektromagnetische Wellen,...), Ausgleichsvorgänge (Wärmeleitung, Diffusion,..), stationäre Zustände (... der vorgenannten Erscheinungen, außerdem Newtonsche Gravitation). Der Vortrag konzentriert sich auf eine bestimmte Dichotomie der Wellenerscheinungen: Entweder breiten sich diese mit einer einheitlichen Geschwindigkeit aus oder aber sie diffundieren, d.h. auf Wellen maximaler Geschwindigkeit folgen langsamere hinterher. Obwohl uns der erstere Fall aus der Alltagsphysik (als Voraussetzung für Kommunikation, Musik und mehr) vertraut ist, erweist ihn die mathematische Analyse als Ausnahmefall. Von besonderem Interesse ist die Wellenausbreitung in einem gemäß der Allgemeinen Relativitätstheorie gekrümmten Kosmos. Einer Fülle von Ergebnissen stehen offene Fragen gegenüber. Der Autor des Vortrags hat sich in vielen Beiträgen mit den Ausnahme-Wellenerscheinungen - die nach Courant und Hilbert auch mit dem Begriff Huygenssches Prinzip belegt werden - beschäftigt.

*****

Prof. Dr. **Willi Freeden**
Geomathematics Group, University of Kaiserslautern
mailto: freeden@mathematik.uni-kl.de

Essential Principles of Geomathematical Modeling and Their Application

A geomathematical tour is described starting from classical Fourier expansions up to modern Tykhonov multiscale regularization techniques. The ideas and concepts are applied, e.g., to satellite gradiometer data .
In brief, the essential ingredients of the lecture are illustrated by the following scheme:



*****

Hartmut Hecht (Berlin).
Mitglied der Leibniz-Sozietät
mailto: esox_21@gmx.de

Geodäsie-Mathematik-Physik: Anfänge in der Brandenburgisch-Preußischen Sozietät der Wissenschaften unter der Präsidentschaft von Gottfried Wilhelm Leibniz

Die frühesten von Leibniz in der Akademie-Ausgabe gedruckten naturwissenschaftlichen Abhandlungen befassen sich mit Methoden der Längengradbestimmung. Es handelt sich um Schriften, die einen in der Wissenschaftsgeschichtsschreibung weniger beachteten Weg zu den modernen Erfahrungswissenschaften öffnen, deren Wesen, theoria cum praxi zu verbinden aber umso klarer zum Ausdruck bringen.
Die Institutionen, in denen sich praxisrelevante Projekte dieser Art realisieren lassen, sind für Leibniz Akademien, insbesondere die Königlich Preußische Societät der Wissenschaften. Aus der Perspektive von Nautik und Geodäsie werde ich erläutern, wie Leibniz in der Berliner Societät sein Wissenschaftskonzept verankert, und welche Wirkungen er anstrebt. Ich werde mich dafür auf seine Pläne zur wissenschaftlichen Erschließung Russlands konzentrieren, und insbesondere auf die Erforschung des Erdmagnetismus eingehen. Die Berliner Societät der Wissenschaften erweist sich somit als Scharnier, das es Leibniz ermöglicht, seine frühesten Ambitionen zur Ausformung eines neuen Wissenschaftskonzepts mit der Realisierung globaler Forschungsprogramme zu verbinden.

*****

Prof. Dr. **Fernando Sanso & Antonios Vatalis**,
Politecnico di Milano, Polo Regionale di Como
mailto: fernando.sanso@polimi.it

Reference Systems – Reference Frames on Geodesy

The concepts of reference systems (RS) and reference frame (RF) arise from the need of using coordinates in writing the observation equations in geodesy, as in all other physical sciences. Since coordinates are a purely mathematical object, observation equations enjoy some form of invariance under coordinate transformation, so that the corresponding mathematical model is rank deficient with respect to the parameters we seek to estimate the classical definition of RS and RF is related to the way in which such rank deficiency is remediated.
The study of the algebraic description of families of solutions of rank deficient problems has been a traditional subject in geodesy that has conducted to an advancement of the general estimation theory; here we want to mention only the pioneering work of A. Bjerhammer and of E.Grafarend.
This notwithstanding the authors have felt a certain weakness at the level of definition of the above objects, and have tried the way of an axiomatic approach.
On the basis of a general principle of operativeness, we reverse the order of definition claiming that the concept of RF has to be defined first; there we propose a definition that is somehow more stringent than the classical and we study the relation between the two.
Then we show how the definition of RS emerges in a natural way from the previous.
On a conceptual ground this easily allows to define the quality of a RF and even the optical RF with respect to a certain RS and the set of observations.

*****

Prof. Dr. **Zuheir Altamimi**,
Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), Paris
mailto: zuheir.altamimi@ign.fr

Reference frame representations of the deformable Earth: Application to the International Terrestrial Reference Frame

Although a Terrestrial Reference Frame has a mathematical concept, as a realization of a Terrestrial Reference System, it should allow modeling all linear and non-linear motions of the surface of the deformable Earth. The motions affecting the Earth surface range from linear, due mainly to plate tectonics and post glacial rebound; periodic, caused by loading effects (atmosphere, hydrology and ocean circulation); rupture or dislocation, due to Earthquakes and volcano eruptions; to transient or post-seismic deformation. A first part of the paper introduces the main types of reference frame representations in usage today, and how they (should) capture all kinds of surface motions, while a second part details the applications to the implementation of the International Terrestrial Reference Frame (ITRF). The periodic signals are modelled using sinusoidal functions, with different frequencies, such as annual and semi-annual, as well as the draconitic signal of some satellite techniques, which is the satellite repeat period with respect to the sun. As an example, the GPS dracontic year of 351.4 days is known to be manifested in all GPS geodetic products: Orbits, Earth Orientation Parameters and station position time series. Except from possible inter-annual signals which might be mitigated by applying an accurate geophysical model, the repeated periodic signals should in principle cancel out for sites with long time-span of observations.
The post-seismic deformations caused by major and giant Earthquakes are of course far from having linear behavior. Precisely modelling these deformations is critical and fundamental in the ITRF construction, in order to avoid any impact on the long-term stability and defining parameters of the reference frame. Different parametric models are usually used here, ranging from logarithmic to exponential or a combination of both, as a function of the site motion affected by an Earthquake.
The paper details in particular the adopted mathematical models to address key questions regarding the ITRF elaboration, illustrated by some numerical applications using the available space geodetic data. We address the questions of not only how the linear and non-linear station motions are modeled in the ITRF, but also what are the impacts of non-linear motions on the ITRF results, as well as its mathematical definition, namely its origin, scale, orientation and their time evolution. We distinguish between in one hand the reference frame stability in terms of the time evolution of its defining parameters (origin, scale and orientation) and on the other hand the stability, or more precisely the trajectory of the stations subject to Earthquakes and/or periodic signals. We would theoretically be able to precisely define a secular frame, such as the ITRF, in such a way that Earthquakes and periodic signals have little to no impact on its defining parameters.

*****

Prof. Dr. **Guenter W. Hein**
Head of EGNOS and Galileo Evolution Programme Department, European Space Agency, and University FAF Munich
mailto: guenter.hein@esa.int

From science for science: The Global Satellite Navigation System Galileo

After reviewing the status of Galileo and its evolution, it is shown that two scientific developments prepared the way for precise satellite positioning and navigation: Einstein's Relativity Theory and the development of ultra-precise atomic clocks.
Although the built-up and use of Global Navigation Satellite Systems could be just considered as technological achievement providing worldwide positioning, navigation and timing, the presentation likes to highlight that a system like Galileo can significantly contribute to important scientific questions, moreover, enables them even first to find a proper solution at all. Those examples are discussed where Galileo may solve also scientific problems.

*****

Philipp Berglez und Prof. Dr. **Bernhard Hofmann-Wellenhof**,
Technische Universität Graz
mailto: hofmann-wellenhof@tugraz.at

Galileo und Grafarend unterwegs zu GNSS

Das europäische Satellitennavigationssystem Galileo erlebte in seiner bisherigen Historie mehrfach Verzögerungen, die auch zur Frage führen, ob der Wettbewerb mit den anderen Global Navigation Satellite Systems (GNSS) noch erfolgreich bestanden werden kann. Eine besondere Herausforderung für Galileo sind die beiden Satelliten, die im August 2014 von einer russischen Trägerrakete in ihre Umlaufbahnen gebracht werden sollten, diese aber nicht erreichten. Ist dadurch Galileo in Frage gestellt? Können diese Satelliten trotz ihrer viel zu elliptischen und wesentlich zu „tiefen" Bahnen noch für GNSS mitverwendet werden? Gibt es für Galileo positive Perspektiven, die gerade jetzt in dieser kritischen Phase Vorteile gegenüber anderen GNSS bieten?
Die Antwort auf diese Frage kann, auf Grund des nutzerorientierten Konzepts von Galileo, nur mit „Ja" beantwortet werden. Die positive Perspektive erschließt sich durch die Betrachtung der aktuellen Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzer. Während andere GNSS, wie zum Beispiel das amerikanische GPS, das russische GLONASS oder das chinesische Beidou, unter militärischer Kontrolle stehen, ist Galileo klar auf eine zivile Nutzung unter ziviler Kontrolle ausgelegt. Galileo als bisher größtes europäisches Weltraumprojekt hat in den vergangenen Jahren neue technische Maßstäbe im Bereich GNSS gesetzt und ist derzeit mehr denn je von strategischer Bedeutung für die Unabhängigkeit und die Wirtschaft der Europäischen Union.
In den letzten Jahren wurden Anwendungen von GNSS werden vermehrt das Ziel von Störattacken. Studien belegen, dass durch absichtliche Störattacken beträchtliche wirtschaftliche aber auch materielle Schäden entstehen können. Störsignale können den Betrieb von GNSS-Empfängern signifikant beeinflussen. Dies kann von einer schlechteren Positionsgenauigkeit bis hin zu einer falschen Position oder zum totalen Ausfall der Positionierung führen. Galileo bietet hier, im Unterschied zu den anderen Systemen, auch zivilen Nutzern in Zukunft eine Lösung, da die Signalstrukturen von einigen Galileo Services besonders resistent gegenüber Störattacken sind.
Positiv betrachtet bieten die derzeitigen Herausforderungen und Probleme bei Galileo auch Potential für Innovation und neue technische Ansätze im Bereich von GNSS. Es werden Beiträge aus unterschiedlichsten Fachbereichen notwendig sein, um innovative Lösungen zu entwickeln. Die dabei gewonnen Erkenntnisse werden dann in Zukunft wieder dem Galileo-Nutzer zu Gute kommen.
Die Brücke zu Erik W. Grafarend ist leicht zu schlagen. Dieser Beitrag wurde aus Anlass seines 75. Geburtstags geschrieben. Es wird gezeigt, wie der Universalgeodät Grafarend im

Rahmen seiner wissenschaftlichen Tätigkeit den Weg zu GNSS fand. Da wir von Erik W. Grafarend noch viele Beiträge (nicht nur) für GNSS erhoffen und Galileo bis zur Komplettierung noch einige Jahre benötigen wird, wählten wir den Titel „Galileo und Grafarend unterwegs zu GNSS“.

*****

Prof. Dr. **Janusz Zielinski**,
Polish Academy of Sciences, Space Research Centre, Warsaw
mailto: jbz@cbk.waw.pl

The possible impact of the direct measurements of the non-gravitational accelerations on the GNSS performance

Precise orbit determination of the GNSS constellation is essential for its high quality performance. However, some effects can not be modeled with the desired precision because of the limited accuracy of models. Direct measurements on the board of the satellite of those forces may considerably improve the solutions for orbits, positions and timing. It will open the possibility of the new scientific research and practical applications.

*****

Prof. Dr. **Athanasios Dermanis**
Department of Geodesy and Surveying, School of Rural and Surveying Engineering
Faculty of Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece
mailto: dermanis@topo.auth.gr

Reference system issues in some GNSS seismology problems

In geodesy the determination of the transformation parameters between two different reference systems is determined through the use of common physical points, e.g. the stations of overlapping control networks. In the broader field of geomatics there are instances where no such common points are available, as for example in the case of two Digital Elevation Models or in the cases of repeated surveys with the use of a laser scanner. Another similar case is the merging of GNSS and accelerometer co-seismic data which refer to different reference systems. In such cases the problem reduces to the matching of surfaces or curves which can be constructed by global interpolation of the discrete point based information. The difficulties in such global approaches, as well as in the choice of proper criteria for surface or curve matching can be bypassed by using the classical approach of point matching where the homologous to the points at one epoch are constructed with the help of localized interpolation on the data of a second epoch. The case of GNSS and accelerometer data matching poses the additional problem of accelerometer time keeping instabilities thus transforming the problem from a spatial to a spatiotemporal one. Principal component analysis can be used for diagnosing the essential dimensionality of discretely observed space-time curves and for the filtering out of the main part of the reference system transformation, so that the remaining close-to-identity transformation parameters can be determined using localized interpolation for constructing homologous points.

*****

Prof. Dr. **Michael Schmidt**,
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, München
mailto: schmidt@dgfi.badw.de

Towards ellipsoidal representations of the Earth's gravitational field

The determination and the representation of the gravitational field of the Earth are some of the most important topics of physical geodesy. Traditionally in satellite gravity recovery problems the global gravity field of the Earth is modelled as a series expansion in terms of spherical harmonics. This allows easy computation of the gravitational potential and its functionals. Although these global basis functions are well suited when the reference surface is a sphere, measured terrestrial and airborne gravity data are usually reduced to a rotating reference ellipsoid, i.e. a spheroid. In this case, oblate ellipsoidal harmonics are much more appropriate than spherical harmonics.
Consequently, the computation of the high resolution state-of-the-art combined global gravity field model EGM2008 was performed on the basis of oblate ellipsoidal base functions up to a degree 2159. The main problem in working with ellipsoidal harmonics, however, was the evaluation of the associated Legendre functions of the second kind. Several procedures including suitable transformations between ellipsoidal and spherical harmonics as well as renormalization methods have been developed in the last years. In this presentation an overview on different strategies will be given; in particular the evaluation of the associated Legendre functions of the second kind by means of the hypergeometric Gauss functions is discussed in detail.
The second part of the presentation focuses on the inhomogeneous structure of the Earth's gravity field and the heterogeneous distribution of the input data. Consequently, a multiresolution representation is an appropriate candidate for spatial modelling. In the last years several approaches were pursued to generate a multi-resolution representation of the gravitational potential by means of spherical (radial) base functions. Gravity field modelling in terms of spherical (radial) base functions has long been proposed as an alternative to the classical spherical harmonic expansion and is nowadays successfully used in regional or local applications. To be more specific, the application of the wavelet transform allows the decomposition of a given data set into a certain number of frequency-dependent detail signals. As mentioned before the spheroid means a better approximation of the Earth than a sphere. Consequently, we discuss ellipsoidal wavelet theory to model the Earth's gravitational potential. As in the case of ellipsoidal harmonics the associated Legendre functions of the second kind have to be computed efficiently for setting up the ellipsoidal scaling and wavelet functions.

*****

Prof. Dr. **Evangelos Livieratos**,
School of Rural and Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Aristotle University of Thessaloniki,
mailto: livier@auth.gr

Digital Analysis of the content of old maps

The great importance of multidisciplinarity in the contemporary advancement of sciences and technologies was illustrated recently, in a spectacular way, thanks to the discoveries of cells that constitute a positioning system in the brain (the "GPS of the brain" as was transliterated by the media), honoured by the 2014 Nobel Prize in Physiology or Medicine. It is obvious that one of the fundamentals in Geodetic Sciences, the Positioning issue and of course the Mapping issue, is now penetrating the domain of Medical Sciences producing thus a new field of study and research in excellence. The geodetic fundamentals of positioning and mapping introduced in the world of medicine are now stimulating new research agendas in Cartography, the ancient companion of Geodesy, concerning e.g. the cognitive processes and impact-oriented maps. The discovery of the brain's positioning system represents a paradigm shift in our understanding of how ensembles of specialized cells work together to execute higher cognitive functions, opening thus, new fields for understanding other cognitive processes, such as memory, thinking and planning. This very recent example of the important contribution of geodetic fundamentals in modern multidisciplinary research is relevant (even less spectacular as it is the paradigm from medicine) to some other fields of multidisciplinary research coupling geodetic methods and techniques, even the most classical of them, with humanities, as are the also recent cases of approaching the geometric content of old maps, which until recently were a lettered subject solely for historians of cartography and maps. The massive introduction of the digital stream in Humanities gives Geodesy and Cartography new challenges in proving that those ancient derivatives of human intellect are still here, down to earth, contributing even in the domain of the humanities, something almost inconceivable before. In my presentation honouring Erik Grafarend's innovative and (why not) futuristic ideas (as it was e.g. the introduction of animation in visualising error propagation in positioning, back in the far-distant 1972 at Graz, where I met him for the first time) I will show how fundamental geodetic concepts, e.g. coordinate transformations, spatial deformation analysis etc, even in their first approximation, could offer significant advances in the study and interpretation of old maps, enriching the research in Digital Humanities (the importance of which was strongly posed in the last issue of the official journal of our visionary supporter, the Alexander von Humboldt Foundation) and showing that Geodesy is still fresh and productive not only in its very own domain or in the neighbouring mathematical and physical sciences, but also in many other important fields of human intellect, which were seen until now by geodesists as irrelevant or standing far away from their established thinking.

*****

Prof. Dr. **Zdenek Martinecˇ**
Dublin Institute for Advanced Studies, 5 Merrion Square, Dublin 2, Ireland
mailto: zdenek@cp.dias.ie

The rotational deformation and rotational feedback in glacial isostatic adjustment

The influence of changes in surface ice-mass redistribution and associated viscoelastic response of the Earth, known as glacial-isostatic adjustment (GIA), on the Earth's rotational dynamics has long been known. Equally important is the effect of the changes in the rotational dynamics on the viscoelastic deformation of the Earth. This signal, known as the rotational feedback, or more precisely, the rotational feedback on the sea-level equation, has been mathematically described by the sea-level equation extended for the term that is

proportional to perturbation in the centrifugal potential and the second-degree tidal Love number.
The perturbation in the centrifugal force due to changes in the Earth's rotational dynamics enters not only into the sea-level equation, but also into the conservation law of linear momentum such that the internal viscoelastic force, the perturbation in the gravitational force and the perturbation in the centrifugal force are in balance. Adding the centrifugal-force perturbation to the linear-momentum balance and Poisson equations governing GIA creates an additional rotational feedback on the viscoelastic deformations of the Earth. We term this feedback mechanism, which has yet to be studied, as the rotational feedback on the linear-momentum balance. We present the time-domain method for modelling the GIA response of laterally heterogeneous earth models that involves both rotational feedbacks.

*****

Prof. Dr. **Péter Varga**
Geodetic and Geophysical Institute RCAES HAS, Kövesligethy Seismological Observatory, Budapest
mailto: varga@seismology.hu

Long-term variations of the gravitational potential and of the geodynamical properties of a deformable Earth due to axial despinning

Among the phenomena influencing the long-term evolution and dynamics of the Earth only one has an external origin: the long-term despinning of axial rotation due to tidal friction. Based on a statistical analysis of paleontological and paleosedimentological data obtained from the sequences of different colorations in fossil corals, bivalves and brachiopods for the Pz (Phanerozoic) and stromatolites and tidal deposits (tidalites) for the Ptz (Proterozoic) , it has been found that during the Pz the length of day (LOD) increased on average at a rate of 5.4 h/Ga (1.94ms/century) (1Ga=109 year), while during the Ptz, the average rate was only 1.24h/Ga (0.45ms/century), i.e. 4.4 times smaller. Consequently 3Ga BP, LOD was presumably of about 18.5-18.0 h. In contrast to the change rate □LOD during Pz the rate during the Ptz cannot be proven to be statistically significant.
The effectiveness of tidal friction in regulation of LOD can be investigated with the use of total tidal energy, which can be determined as a sum of three energies (energy of axial rotation of the Earth, Moon's orbital energy around the common centre of mass and the mutual potential energy). It was found that during the last 3 Ga the Earth lost 33% of its rotational energy. The LOD 0.5Ga BP (before present) was ~21 h. This means that the rotational energy loss rate was 4.1 times higher during the Pz than earlier in the Arch (Archean) and Ptz.
With the use of angular speed and despinning rate values for the remote geological past the temporal variations of the flattening and the Earth-Moon distance can be calculated for different geological epochs. The flattening three billion years ago was 0.00560, contrast to the current value 0.00335. The Moon was only about 4% closer 3 Ga BP than today and Moon's orbital radius remaining within about 90% of the present value 3 Ga BP.
With the use of paleogeodetic values of flattening and angular speed and assuming that the mass of the earth and the value of the gravitational constant does not changed it can be concluded that the normal gravity has increased at the equator from 9.7570 to 9.7804 m/s2 over the last 2.5 Ga. Over the same time span, normal gravity at the poles changed from 9.8391 to 9.8322 m/s2. This means that the equatorial secular increase was at a rate 2

ngals□year-1, and a concomitant decrease at the poles at the poles of about 0.5 ngals□year-1. This tiny secular signal is close or already within observational options of modern gravimetry. To demonstrate the reality of these gravity changes it is important to show that the gravitational constant is time independent. With the use of data obtained from the investigation of tidal friction it was found that the time derivative of G can only be positive and its numerical value should be very small.

*****

Fritz Gackstatter (Berlin),
Mitglied der Leibniz-Sozietät
mailto: fgackstatter@gmx.de

Lunisolarer Einfluss auf die Entstehung von Erdbeben

Im Rahmen meiner Studien über Himmelsmechanik und Mondtheorie habe ich das wunderbare Werk Tidal Dynamics von Fergus J. Wood [1] kennengelernt. In [1, II, S. 165] werden die Springfluten in Abstandsklassen eingeteilt. Die beiden Klassen „extreme proxigean spring tides“ und „maximum proxigean spring tides“ sind durch extreme Mondnähe, Parallaxe $\pi \geq 61' 29.0''$ oder Abstand $r \leqslant 356641$ km, ausgezeichnet. In [1, I, S. 141] stellt Wood eine Liste der „extreme/maximum proxigean tides“ für die 400 Jahre von 1600-1999 zusammen. Ich war neugierig und habe die Liste im neuen Millennium weitergeführt. Im Jahre 2006 habe ich folgende überraschende Beobachtung gemacht:
Die erste „extreme proxigean tide“ im neuen Jahrtausend gab es am 10. Januar 2005. Einen halben synodischen Monat zuvor, am 26. Dezember 2004, haben Erdbeben der Magnitude 9.0 und 9.1 vor der Küste von Sumatra den Tsunami im Indischen Ozean ausgelöst.
Diese Entdeckung wurde in [2] veröffentlicht. Am 11. Januar 2007 habe ich darüber einen Vortrag vor der Sozietät gehalten. Diese Beobachtung veranlasst zu weiteren Untersuchungen über den lunisolaren Einfluss auf die Entstehung von Erdbeben. Am 9. Dezember 2010 habe ich vor der Sozietät einen Vortrag zum Thema gehalten. Die Ergebnisse wurden in [3] veröffentlicht. Ein „extreme proxigean tide“ am 19. März 2011 stand bevor. Acht Tage zuvor, am 11. März 2011, gab es die Katastrophe in Japan. Unser Kollege Herbert Hörz hat diesen Sachverhalt in [4] erläutert. Durch Überlagerung der elliptischen Ungleichheit und der Evektionsanomalie entsteht eine Schwebungsoszillation bei der Abstandsfunktion des Mondes. Christoph Gackstatter hat 2010 einen statistischen Test durchgeführt und gezeigt: Die von Hipparch entdeckte Evektion hat einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Verteilung der Erdbeben.
Weitere Einzelheiten findet man in [3, S. 800-804].

[1] F.J. Wood: Tidal Dynamics, 2 Volumes. Journal Coastal Research, Special Issues 30 and 31, 2001.
[2] F. Gackstatter: Lunisolar effect on spring tides, earthquakes, and tsunamies. Journal Coastal Research 23, 528-530, 2007.
[3] F. Gackstatter, C. Gackstatter: Lunisolar effect on the trigger of earthquakes. Astron. Nachr. 332, 795804, 2011.
[4] H. Hörz: Ist der Zufall erkenn- und beherrschbar? - Grundzüge einer dialektischen Theorie des Zufalls. Leibniz Online 14/2012.

*****

Oliver Schwarz (Siegen),
Mitglied der Leibniz-Sozietät, Universität Siegen
mailto: schwarz@physik.uni-siegen.de

Gradmessungsarbeiten in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts und die Seeberg-Basis bei Gotha

Um 1806 legte Franz Xaver von Zach (1754-1832) eine Basislinie an der Seeberg-Sternwarte bei Gotha aus, die er für eine Längen- und Breitengradmessung in Mitteleuropa nutzen wollte. Obgleich dieses Projekte scheiterte, der südliche Endpunkt der Basislinie sogar gestört und erst rekonstruiert werden musste, erlebte diese Basislinie nach dem Ende der Napoleonischen Kriege eine ungewöhnliche Renaissance mit weitreichenden geodätischen Erkenntnissen. Um nur die bedeutendsten Kampagnen zu nennen:
Karl von Müffling (1775-1851) schloss seine von den Rheinlanden nach Ostpreußen verlaufende Dreieckskette an die Seeberg-Basis an und bestimmte aus dieser Längengradmessung die Abplattung der Erde, auch für die Landesvermessungen von Carl Friedrich Gauß (1777-1855) spielte diese Basislinie eine herausragende Bedeutung. Schließlich bezog sich Peter Andreas Hansen (1795-1874) bei seiner Vermessung Mitteldeutschlands auf die Basislinie Zachs.

*****